

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CAMPUS ARARANGUÁ**  
**TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO**

**RICARDO NAGEL MACHADO**

**PROPOSTA DE SISTEMA BASEADO NA PLATAFORMA  
KINECT PARA SUPORTE A REABILITAÇÃO DE PACIENTES  
COM PATOLOGIAS LIGAMENTARES NOS JOELHOS**

Araranguá, dezembro de 2013.

RICARDO NAGEL MACHADO

PROPOSTA DE SISTEMA BASEADO NA PLATAFORMA KINECT  
PARA SUPORTE A REABILITAÇÃO DE PACIENTES COM  
PATOLOGIAS LIGAMENTARES NOS JOELHOS

Trabalho de Curso submetido à  
Universidade Federal de Santa  
Catarina, como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do  
Grau de Bacharel em Tecnologias  
da Informação e Comunicação.

Orientador: Prof. Dr. Juarez Bento  
da Silva.


Araranguá, dezembro de 2013.

Ricardo Nagel Machado

**Proposta de sistema baseado na plataforma Kinect para suporte a reabilitação de pacientes com patologias ligamentares nos joelhos.**


Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de Bacharel em Tecnologias da Informação e Comunicação, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação.

  
Professor Doutor Wilson Gruber  
Coordenador do Curso

  
Professor Doutor Jurez Bento da Silva  
Presidente da banca – Orientador

  
Professora Doutora Euciana Bolan Frigo  
Membro

  
Professora Mestre Marta Adriana da Silva Cristiano  
Membro

  
Especialista Tatieli Dagostim Paim  
Membro Suplente

Araranguá, 10 dezembro de 2013

*Dedico este trabalho a minha família  
que sempre me incentivou a estudar e  
a todos que contribuíram direta ou  
indiretamente para a minha formação  
acadêmica.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço a todos que estiveram comigo neste período,  
especialmente:*

*A minha família que esteve sempre ao meu lado, incentivando e  
mostrando a importância do estudo.*

*A oportunidade de estudar na UFSC em minha cidade natal  
Araranguá devido à interiorização da UFSC e a todos que trabalharam  
na consolidação desse projeto.*

*Ao professor e orientador Juarez Bento da Silva por me fornecer  
a primeira oportunidade de trabalho dentro do campus e mesmo com  
seu tempo escasso, sempre que solicitado esteve disposto a auxiliar  
nesse trabalho.*

*Aos colegas e amigos que fiz neste período que dividiram  
experiências ao longo da faculdade.*

*A Luiza de Almeida Campos pelo amor, carinho e incentivo.*

*“Seja curioso. E por mais difícil que a vida  
possa parecer, há sempre algo que você pode  
fazer e ter sucesso.”*

Stephen Hawking

## RESUMO

A popularização e o baixo custo dos dispositivos de interface natural dos videogames atuais têm proporcionado estudos nas mais diversas áreas do conhecimento. Neste contexto, pesquisas com esses dispositivos na área de reabilitação fisioterapêutica são cada vez mais comuns, uma vez que a interação natural, aliada a um ambiente diferenciado, podem ser benéficas à motivação do paciente. Dessa maneira, este trabalho possui como intuito propor uma aplicação para a plataforma de interação natural Microsoft Kinect que possibilite complementar processos de reabilitação de pacientes com patologias ligamentares nos joelhos.

**Palavras-chave:** Kinect, fisioterapia, *serious game*, *SDK*.

## **ABSTRACT**

The popularity and low cost of natural interface devices of today's video games have provided studies in diverse areas of knowledge. In this context, research with these devices in the area of physical therapy rehabilitation are increasingly common, since the natural interaction, combined with a unique environment, may be beneficial to the patient's motivation. That way, this study has as intention propose an application for platform of natural interaction Microsoft Kinect which enables to complement processes of rehabilitation of patients with ligamentous pathologies of the knees.

**Keywords:** Kinect, physiotherapy, *serious game*, SDK.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- SENSORAMA criado por Morton Heilig .....	27
Figura 2 - Capacete de realidade virtual desenvolvido por Ivan Sutherland .....	28
Figura 3 – Exemplo CLI(command-line interface) .....	34
Figura 4 – Exemplo GUI(graphical user interfaces) .....	35
Figura 5 – Exemplo utilização Microsoft Kinect .....	39
Figura 6 - Controles Wiimote e PsMove respectivamente. ....	41
Figura 7 - Funcionamento da aquisição da percepção de profundidade	43
Figura 8 - Componentes de hardware do Kinect. ....	44
Figura 9 - Motor de inclinação (tilt motor) Kinect.....	45
Figura 10 - Distâncias suportadas pelo sensor de profundidade .....	46
Figura 11 - Campo de visão horizontal em default range.....	47
Figura 12 - Campo de visão horizontal em near range.....	47
Figura 13 - Arquitetura lógica Kinect .....	48
Figura 14 - Interação hardware e software com a aplicação .....	50
Figura 15 - Kinect reconhece até 6 pessoas.....	51
Figura 16 - Articulações detectáveis pelo Kinect SDK.....	52
Figura 17 - Modos de rastreamento.....	53
Figura 18 - Bibliotecas que utilizam OpenNI.....	54
Figura 19 - Visão do conceito do OpenNI .....	55
Figura 20 - Tela de Novo Jogo.....	60

Figura 21 – Fórmula de pontuação.....	61
Figura 22 - Arquivo texto estatísticas do jogo Pong .....	62
Figura 23 - Protótipo de baixa fidelidade.....	66
Figura 24 - Versão final do jogo para pacientes hemiplégicos.....	67
Figura 25 - Número de movimentos corretos completados por Peter ...	71
Figura 26 - Número de movimentos corretos completados por Sherry.	71
Figura 27 - Agachamento Simples .....	78
Figura 28 - Exercício de extensão/flexão do joelho em pé.....	79
Figura 29 - Exercício de extensão/flexão do joelho sentado .....	80
Figura 30 - Arquitetura da aplicação .....	84
Figura 31 - Diagrama de caso de uso da aplicação .....	85
Figura 32 - Jogo estilo running chamado Temple Run .....	88
Figura 33 - Método classificatório sessões de flexo/extensão.....	92

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Parâmetros configuráveis pelo fisioterapeuta.....	86
Tabela 2 - Feedback do serious game para o paciente .....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**3D** – Três Dimensões

**API** – *Application Programming Interface*

**DMO** – *DirectX Media Object*

**E3** – *Electronic Entertainment Expo*

**ECCA** – Exercícios de Cadeia Aberta

**ECCF** – Exercícios de Cadeia Fechada

**IES** – Instituições de Ensino Superior

**IR** – *Infrared*

**LCA** – Ligamento Cruzado Anterior

**LCL** – Ligamento Colateral Lateral

**LCM** – Ligamento Colateral Medial

**LCP** – Ligamento Cruzado Posterior

**NI** – *Natural Interaction*

**NTIC** – Novas Tecnologias da Informação e Comunicação

**NUI** – *Natural User Interface*

**OpenNI** – *Open Natural Interaction*

**RGB** – *Red, Green and Blue*

**RV** – Realidade Virtual

**SDK** – *Software Development Kit*

**SGBD** – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

**WIMP** – *Window, Icon, Menu, Pointer*

**WPF** – *Windows Presentation Foundation*

**ZDK** – *Zigfu Development Kit*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 PROBLEMÁTICA.....	20
1.2 OBJETIVOS: .....	22
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>23</b>
1.3 METODOLOGIA .....	23
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	24
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>26</b>
2.1 Breve História da Realidade Virtual .....	26
<b>2.1.1 Definição de Realidade Virtual .....</b>	<b>29</b>
2.2 EVOLUÇÃO DA INTERAÇÃO .....	31
<b>2.2.1 Interface de Linha de Comando (CLI).....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.2 Interface Gráfica de Usuário (GUI).....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.3 Interface Natural do Usuário (NUI) .....</b>	<b>36</b>
2.3 DISPOSITIVO MICROSOFT KINECT.....	40
<b>2.3.1 Arquitetura do Microsoft Kinect .....</b>	<b>43</b>
2.4 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO PARA KINECT..	49
<b>2.4.1 Kinect for Windows SDK .....</b>	<b>49</b>
<b>2.4.2 OpenNI.....</b>	<b>53</b>
<b>2.4.3 OpenKinect .....</b>	<b>58</b>
<b>3 TRABALHOS CORRELATOS .....</b>	<b>59</b>
3.1 Desenvolvimento de um jogo eletrônico para reabilitação utilizando um sensor de som e movimento (Kinect) .....	59
3.2 Sistema de Reabilitação Fisioterapêutica baseada em Jogos com Interfaces Naturais.....	63

3.3 A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. ....	67
<b>4 PROPOSTA .....</b>	<b>73</b>
4.1 Biomecânica do joelho .....	73
4.2 Caracterização dos exercícios propostos .....	77
<b>4.2.1 Agachamento .....</b>	<b>77</b>
<b>4.2.2 Extensão e flexão do joelho em pé.....</b>	<b>78</b>
<b>4.2.3 Extensão e flexão do joelho sentado.....</b>	<b>79</b>
4.3 Caracterização da Proposta .....	80
<b>4.3.1 Requisitos de Sistema.....</b>	<b>82</b>
<b>4.3.2 Especificação da Aplicação.....</b>	<b>84</b>
<b>5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>93</b>
5.1 Conclusões .....	93
5.2 Trabalhos Futuros.....	95
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>97</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Há cerca de quarenta anos atrás o consumidor de jogos eletrônicos convivia com um hardware simples, dispondo de processamento de apenas 8 bits, alguns kilobytes de memória, além de interfaces e *joysticks* limitados. Entretanto nas últimas duas décadas é notável o vertiginoso avanço das tecnologias, que aliadas à grande concorrência do setor de *videogames* propiciam com cada vez mais frequência inovações tecnológicas, tanto gráficas quanto de hardware. Estas ultrapassam as fronteiras estabelecidas do setor de *games* beneficiando diferentes áreas por meio de atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D - pesquisa e desenvolvimento).

Dentre os elementos que mais evoluíram, se destaca a interface para o usuário. Comumente, na realidade atual a interação entre homem e máquina é exercida através de teclado, *mouse*, *touch screen* e mais recentemente também por interfaces naturais para o usuário (*NUI – Natural User Interface*).

Conforme Preece, et al. (2005) afirmam, busca-se há anos a minimização máxima das dificuldades de operações que envolvem máquinas e equipamentos eletrônicos. Para que isso seja possível foram desenvolvidas interfaces que buscam aproximar estas operações com as reais atividades praticadas diariamente pelas pessoas, no intuito de facilitar o aprendizado e manuseio de equipamentos. No entanto, ocorreu um longo processo evolutivo para se chegar ao atual cenário em que dispomos de uma gama de interfaces como opção.

O processo evolutivo das interfaces para usuários dos *videogames* se iniciou na década de 70 por meio do *Paddle*, um botão rotatório que simplesmente movia os gráficos dos primeiros *arcades*,



mais conhecidos como fliperama no Brasil, assim como dos primeiros aparelhos domésticos, que se moviam em sentidos verticais, tais quais as raquetes do jogo Pong (ATARI, 1972), ou em sentido horizontal, como veículos do jogo Night Driver de 1976. (TAVARES, 2011).

Conforme o mercado dos *videogames* se expandiu ao ponto do conceito de *arcades* se transformar em consoles domésticos e os mesmos disporem de maneiras para receberem jogos além dos presentes na sua memória, exigiu-se a transformação da interface física dos *joysticks* para que suportassem controlar diversos jogos. Com a evolução dos consoles domésticos, gradativamente foram incorporados cada vez mais botões aos *joysticks*. O que antes era simples se tornou complexo de manusear. Conforme Tavares (2011) aponta, a exigência de habilidades além da capacidade de muitos jogadores, fez com que muitas pessoas se afastassem dos videogames, o que acarretou na mudança de público, assim concentrando-se mais no mercado para crianças e adolescentes. Desta maneira o mercado tornou-se gradativamente mais propício aos usuários que possuem aparelhos cognitivos mais intactos e dispõem de muito mais tempo para treinar e desenvolver todas as habilidades exigidas para essa prática: técnicas motoras e cognitivas.

Apesar do aumento da complexidade dos *joysticks* no decorrer da história, isso não evitou com que pesquisas e desenvolvimentos de novos meios de interação entre homem e máquina surgissem. A indústria de jogos eletrônicos é uma das grandes responsáveis pela busca de inovações na experiência de interação, destacando-se a empresa nipônica Nintendo. Essa investiu ao longo da sua existência em diversas inovações nas interfaces para os usuários, até consolidar uma das suas

invenções, o console Nintendo Wii. Dentre os dispositivos lançados pela Nintendo está a pistola (ZAPPER, 1984), o (POWER GLOVE, 1989) e o (VIRTUAL BOY, 1995). Este último sendo o maior fracasso da Nintendo, visto que era um portátil de realidade virtual com várias limitações que não proporcionava ao usuário uma experiência tridimensional da qual prometia. Além disso, outros fatores críticos causaram o fracasso desse dispositivo, como dores de cabeça nos jogadores e a classificação indicativa do aparelho, pois poderia prejudicar o desenvolvimento ocular de menores de 7 anos.

Apresentado em 2005 na Tokio Game Show (CESA, 2005) e posteriormente lançado no mercado no fim de 2006 (NINTENDO WII, 2006), o Nintendo Wii sofreu com as críticas por ter gráficos inferiores aos seus concorrentes Xbox 360 e Playstation 3. No entanto o principal conceito por trás do Wii dizia respeito à interface de controle. Chamado de Wii Remote e apelidado de Wiimote, o *joystick* do Nintendo Wii é munido de um acelerômetro capaz de medir acelerações em três eixos (x, y e z), além de infravermelho que permite a medição das rotações do controle em relação os três eixos, conexão *Bluetooth* para a transmissão das informações para o console e número reduzido de botões simplificando a jogabilidade. Essas características fizeram com que o Nintendo Wii alcançasse outros públicos combinando jogabilidade intuitiva e jogos simplificados, diferente do que usuários experientes são habituados.

Visto o grande sucesso que o Nintendo Wii se tornou, levando a Nintendo ao topo na condição de líder do mercado de *videogames* por alguns anos, lugar o qual não ocupava há mais de 17 anos, aliado ao baixo custo do Wiimote, despertaram o interesse de pesquisadores e

desenvolvedores. Desta forma, hoje em uma rápida consulta na internet é possível encontrar diversos estudos científicos e aplicações que utilizam o Wiimote, tais como: (SCALCO; FREITAS, 2011), (DEUTSCH; BORBELY; FILLER, J. et al. 2008), (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, GIL-GÓMEZ, ALCANIZ, et al. 2010 ).

Impulsionada pelo sucesso evidente do novo modelo de interação de jogabilidade proposto pela Nintendo, a Microsoft em 2010 lançou o *Microsoft Kinect*. Baseado em um projeto intitulado *Project Natal*, o Kinect é um periférico para o console Xbox360 capaz de capturar movimentos do usuário permitindo assim uma jogabilidade natural por meio de gestos corporais e comandos de voz (KINECT, 2010).

O sucesso de um sistema de interação natural depende do quão ele influencia as pessoas a experimentarem isso (VALLI, 2005). Dentro desse contexto o Kinect se destaca, pois alcançou o recorde de vendas em âmbito mundial com uma média de 133.333 unidades por dia nos seus primeiros 60 dias de vendas. (GUINNES WORLD RECORDS, 2011).

A popularização do Kinect torna cada vez mais frequentes pesquisas e aplicações baseadas nesse dispositivo. Contudo, estudos utilizando o periférico iniciaram de forma independente por meio de adaptações do dispositivo para empregá-lo junto ao computador, além da elaboração de bibliotecas livres para implementação de aplicações. O interesse da comunidade *open source* despertou a atenção comercial por parte da Microsoft, a qual posteriormente lançou uma versão denominada *Kinect for Windows*. Esta versão exclusiva para utilização em computadores dispõe de um SDK (*Software Development Kit*)

oficial desenvolvido pela Microsoft, além do suporte com atualizações do mesmo feito pela empresa norte-americana.

Desse modo, visto o interesse da comunidade científica e o suporte por parte da própria criadora do periférico em trazer os desenvolvedores para perto de si de maneira oficial, os estudos tem crescido demasiadamente. Em contrapartida, por se tratar de uma tecnologia recente, lançada em 2010, ainda há muito que ser explorado em estudos de viabilidade de sua utilização, fornecendo assim cada vez mais materiais a respeito desse dispositivo, o qual pode ser uma solução plausível para diversas questões pendentes na sociedade atual.

## 1.1 PROBLEMÁTICA

Os recentes avanços tecnológicos da área de interface natural e a decorrente popularização principalmente por meio da indústria de *games* estimulam com cada vez mais frequência atividades de pesquisa e desenvolvimento neste âmbito. Apesar disso, ainda existem poucas pesquisas que viabilizem afirmar com convicção a eficácia desses dispositivos em determinados campos de estudos. Faz-se exemplo disso a pesquisa realizada por Chang et al. (2011), que apesar de obter bons resultados através do uso do Kinect na reabilitação de jovens com dificuldades motoras, a amostragem utilizada foi pequena, não podendo assim basear-se nessa pesquisa para determinar a total eficácia do dispositivo Kinect nestes processos.

Dentre os principais domínios explorados pelas pesquisas com dispositivos de interface natural, um alvo recorrente é a reabilitação motora. Este objeto de pesquisa se deve ao fato que ferramentas de ponta específicas para a reabilitação de pacientes apresentam custo

elevado, além de requererem espaços exclusivos para sua execução, impossibilitando assim que possam ser adquiridas e desfrutadas por pacientes em suas residências. Dessa forma, as interfaces naturais para o usuário desenvolvidas para fins de entretenimento junto aos consoles da atual geração, surgem como ferramentas de baixo custo para desenvolver esse tipo de pesquisa.

Processos de reabilitação requerem ao seu transcorrer a execução de uma gama de exercícios de forma repetitiva. No entanto, antes disso está a carga do fisioterapeuta introduzir ao paciente o plano de exercícios o qual será submetido. Assim, mediante o aprendizado das atividades propostas o paciente irá reproduzir o que lhe foi ensinado. Desta maneira, entende-se que os fatores críticos de sucesso de uma reabilitação estão intrinsecamente ligados à capacidade do fisioterapeuta de expor clara e objetivamente o plano de exercícios, juntamente a aptidão do paciente em memorizar a atividade ensinada.

Compete ainda ao fisioterapeuta o acompanhamento contínuo da evolução do paciente. O intuito desse cuidado visa promover a proximidade do profissional com o paciente, para que assim o mesmo possa remodelar o plano de exercícios ou reparar imperfeições constatadas na execução do exercício por parte do paciente. No entanto, este cenário presente nos processos de reabilitação acarreta em um elevado tempo de dedicação a cada paciente, o que em longo prazo pode ocasionar a queda de qualidade do serviço prestado pelo fisioterapeuta em virtude do acúmulo de pacientes.

O demasiado tempo dedicado a cada paciente, concomitante aos deslocamentos necessários para reunir fisioterapeuta e paciente em um mesmo local, ocasionam incumbências às clínicas e hospitais que

poderiam ser reduzidas. Fatores como filas para fixar sessões, indisponibilidade de instalações a serem alocadas sessões, gastos com materiais e recursos humanos poderiam ser minimizados se o paciente dotasse de um sistema para uso complementar à reabilitação na sua residência.

Outra questão importante a ser investigada propondo soluções, se trata da questão motivacional dos pacientes. A evasão no decorrer do tratamento, juntamente com a execução imprecisa dos movimentos propostos, são elementos que podem gerar agravamento das lesões. A partir disso, uma forma de contornar o declínio da motivação do paciente ao longo do tratamento, passa por apresentar meios interativos que o estimulem até mesmo de forma inconsciente à execução de ações definidas para a sua patologia.

Dessa forma, diante das perspectivas expostas nos parágrafos anteriores tem-se como pergunta de pesquisa “Como propor um sistema portátil de interface natural que sirva de complemento ao processo de reabilitação motora, fornecendo *feedback* das atividades realizadas tanto ao paciente quanto ao fisioterapeuta, com intuito de melhorar a qualidade da reabilitação e reduzir o tempo de recuperação?”

## 1.2 OBJETIVOS:

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor um sistema com base na plataforma Microsoft Kinect que sirva de complemento aos trabalhos de fisioterapia de pacientes com patologias ligamentares nos joelhos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Visando o alcance do objetivo principal, alguns objetivos específicos são requisitos fundamentais para isso:

- Realizar pesquisas bibliográficas para obter conhecimentos sobre a NTIC Microsoft Kinect e procedimentos de fisioterapia para compor a proposta.
- Analisar trabalhos científicos da mesma área da proposta utilizando o Microsoft Kinect, buscando assim inspiração para a composição da proposta, também apontando quais fatores influenciaram na escolha dessa plataforma.
- Propor uma aplicação com base na plataforma Microsoft Kinect que suprima os problemas constatados para a elaboração deste trabalho.

### 1.3 METODOLOGIA

Este trabalho será desenvolvido com base em uma pesquisa exploratória, com intuito de compor uma proposta de um sistema complementar aos trabalhos de fisioterapia utilizando a plataforma Microsoft Kinect.

A metodologia de desenvolvimento deste trabalho é dividida em quatro etapas:

Etapa 1: análise literária com foco nas áreas de interfaces naturais para o usuário e realidade virtual.

Etapa 2: buscar o entendimento quanto a arquitetura da tecnologia Microsoft Kinect e sobre as ferramentas que viabilizem o desenvolvimento para essa plataforma de interface natural.

Etapa 3: buscar referencial bibliográfico na área de fisioterapia para compreender procedimentos que viabilizem a composição da proposta do sistema.

Etapa 4: Propor um sistema complementar a fisioterapia utilizando a tecnologia Microsoft Kinect, por meio dos conhecimentos adquiridos das etapas anteriores.

#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo possui como intuito contextualizar o projeto, expondo a problemática encontrada, além dos objetivos gerais e específicos do trabalho.

No segundo capítulo é realizada a revisão literária, promovendo assim o entendimento acerca dos conceitos imprescindíveis que envolvem a problemática e a tecnologia Microsoft Kinect.

O terceiro capítulo discorre sobre os principais trabalhos científicos que inspiraram a elaboração da proposta desse trabalho, os quais efetuaram o uso da tecnologia Microsoft Kinect para a construção de sistemas para reabilitação, expondo seus resultados e contribuições relevantes.

O quarto capítulo se trata da construção da proposta do sistema, abordando detalhes que compõem a proposta para um viável funcionamento, além de conceitos adquiridos por meio do estudo de trabalhos científicos da área de fisioterapia.



Por fim, o quinto capítulo discorre acerca das conclusões do autor relativas à plataforma Kinect e outros aspectos relevantes considerados pelo autor para a adoção do Kinect na proposição do sistema. Além de considerações para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, busca-se apresentar os principais conceitos e abordagens teóricas que abrangem o escopo deste trabalho. Inicia-se expondo a caracterização dos conceitos de realidade virtual e NUI (*Natural User Interface*). Em contrapartida, o restante do capítulo é dedicado à compreensão da tecnologia Microsoft Kinect e as principais ferramentas de desenvolvimento para dispositivos de interação natural baseada em gestos.

### 2.1 Breve História da Realidade Virtual

Jaron Lanier introduziu o termo realidade virtual (RV) no final da década de 1980. Artista e cientista da computação, Lanier conseguiu convergir dois conceitos antagônicos em um novo e vibrante conceito, capaz de captar a essência dessa tecnologia: a busca pela fusão do real com o virtual (KIRNER, et al., 2006).

Embora Lanier tenha definido a realidade virtual esplendidamente, as primeiras propostas e pesquisas que fundamentaram a RV que se conhece hoje derivam da década de 1950 e 1960. Neste contexto, o cineasta Morton Heilig é considerado o primeiro a propor e conceber sistemas imersivos. Na década de 1950 Heilig criou o Sensorama (Figura 1), um equipamento no qual o usuário era submetido a diferentes estímulos como, movimentos, odores e ventos, os quais proporcionavam uma imersão jamais vista até então. Assim se diz que Heilig já idealizava o “cinema futurista”.

Já na década de 1960, Ivan Sutherland trabalhou em um experimento intitulado “*Ultimate Display*”, do qual no final da década

de 1960 produziu o primeiro capacete de realidade virtual (Figura 2), dispositivo pioneiro de várias pesquisas e desenvolvimentos subsequentes.

No final de 1986 a equipe da NASA já possuía um ambiente virtual que permitia aos usuários ordenar comandos pela voz, escutar fala sintetizada e som 3D, e manipular objetos virtuais diretamente através do movimento das mãos. O mais importante é que através deste trabalho foi possível verificar a possibilidade de comercialização de um conjunto de novas tecnologias, sendo que o preço de aquisição e desenvolvimento tornava-se mais acessível (Pimentel, 1995).



**Figura 1- SENSORAMA criado por Morton Heilig**

Fonte: (KIRNER, et al. 2006)



**Figura 2 - Capacete de realidade virtual desenvolvido por Ivan Sutherland**

Fonte: (KIRNER, et al. 2006)

Financiar tecnologias de realidade virtual permaneceu restrito a instituições de pesquisas e/ou governamentais, apesar da tecnologia já existir a algumas décadas. Entretanto, com o avanço tecnológico e o crescimento da indústria de computadores, a realidade virtual deixou de ser inviável e empresas de produtos eletrônicos passaram a desenvolver produtos, democratizando as pesquisas nesta área (MACHADO, 1995).

Muitas empresas têm adotado a RV como uma forma mais eficaz de vender seus produtos, validar seus protótipos e treinar/ensinar seus funcionários ou, no caso de instituições de ensino, seus alunos (NETTO, et al. 2002). Isto acontece, devido ao avanço das pesquisas na área que vem aperfeiçoando a qualidade dos *hardwares* de realidade virtual. Em contrapartida, esses avanços contribuem para o interesse dos vários segmentos industriais e aumentando a base de usuários e de aplicações no mundo todo.

### 2.1.1 Definição de Realidade Virtual

Em decorrência da realidade virtual (RV) ser um novo meio de comunicação, a sua definição ainda está em fluxo. Pesquisadores e usuários de realidade virtual, naturalmente, possuem seus próprios pontos de vista. Aqueles menos familiarizados com o campo podem ter interpretações um pouco diferentes (SHERMAN e CRAIG, 2003).

Pimentel (1995, p.15 e 17) conceitua Realidade Virtual como o uso da alta tecnologia para convencer o usuário de que ele está em outra realidade - um novo meio de “estar” e “tocar” em informações: “*Virtual Reality is the place where humans and computers make contact*”.

Latta (1994, p.23) cita Realidade Virtual como uma avançada interface homem-máquina que simula um ambiente realístico e permite que participantes interajam com ele: “*Virtual Reality involves the creation and experience of environments*”.

Kirner, Tori e Siscoutto (2006, p. 7) definem Realidade Virtual como uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário a movimentação (navegação) e interação em tempo real, em um ambiente tridimensional, podendo fazer uso de dispositivos multissensoriais, para atuação ou *feedback*.

O principal objetivo desta nova tecnologia é fazer com que o participante desfrute de uma sensação de presença no mundo virtual (Jacobson, 1994). No entanto, apesar de não haver um consenso quanto à definição de realidade virtual, a junção das definições enunciadas pelos diversos autores do gênero leva a crer em um conjunto de características que evidenciam um típico sistema de realidade virtual:

- Geração do ambiente em tempo-real por um sistema computacional.
- O ambiente é representado tridimensionalmente, além de coexistirem recursos que proporcionam a noção de profundidade, podendo então o usuário mover-se com essa percepção.
- Diferentes modalidades de estímulos sensoriais são instigadas ao mesmo tempo no ambiente, tais como: sonoro, visual e espacial.
- Sensação de imersão no ambiente. Sistemas totalmente imersivos são obtidos com o uso de capacetes e CAVEs(*Cave Automatic Virtual Environment*). No entanto, a imersão pode também ser obtida por meio de outros sentidos, como audição e tato. A maioria dos jogos da atual geração consegue propiciar ótima sensação de imersão em um simples PC.
- Interatividade, essa característica está relacionada à capacidade do sistema de RV responder às ações do usuário, modificando em tempo-real o mundo virtual a partir das ações efetuadas.
- Reprodução realística no ambiente de RV de objetos reais, interações com os usuários, além do próprio modelo do ambiente.

Desta forma, a integração dessas características em um ambiente virtual possibilita ao usuário interagir com cenários antes presentes apenas no imaginário, além de permitir a reprodução de ambientes reais. Kirner et al. (2006) afirmam que além dessas possibilidades é importante que haja por parte do usuário a impressão de estar atuando

dentro do ambiente virtual apontado, pegando, manipulando e executando outras ações sobre os objetos virtuais, em tempo-real, ou seja, dentro de limites de tempo bem definidos, ou com atrasos que não lhe causem desconforto. Essa perspectiva indicada pelos autores salienta que esse tipo de interação torna a experiência mais rica e natural, propiciando maior engajamento e eficiência com as tarefas propostas, à medida que os estímulos são correspondidos em tempo-real no ambiente virtual tridimensional.

No intuito de conceder a interação cada vez mais natural nesses ambientes de realidade virtual, o avanço da tecnologia tem popularizado dispositivos não convencionais, como tecnologias de rastreamento e utilização de gestos e comandos de voz (Kinect; PsMove e Wiimote). “A grande vantagem desse tipo de interface está no fato de as habilidades e conhecimentos intuitivos do usuário poderem ser utilizados para a manipulação dos objetos virtuais” (KIRNER, et al. 2006, p. 6). Essa característica democratiza a utilização dessas tecnologias, visto que não necessita o conhecimento prévio da interface para poder manuseá-la, particularidade imprescindível na decisão pela tecnologia Microsoft Kinect para formulação desse estudo.

## 2.2 EVOLUÇÃO DA INTERAÇÃO

O surgimento dos computadores na década de 1940 modificou uma série de paradigmas da sociedade ao decorrer das décadas seguintes. Desde o advento dos computadores busca-se incessantemente aperfeiçoar as funcionalidades das máquinas. A evolução da capacidade de armazenamento e processamento de dados dos computadores fez com

que seus componentes eletrônicos se tornassem verdadeiros sistemas complexos de valor imensurável (LANDLEY; RAYMOND, 2004).

Ademais, a maneira com que as pessoas interagem com os computadores modificou-se consideravelmente desde os *mainframes* que processavam os dados por lotes, através de cartões perfurados e fitas magnéticas. Hoje desfruta-se da presença das mais diversas tecnologias em praticamente todos os âmbitos da sociedade, por meio da interação com *desktops*, *notebooks*, *smartphones*, *videogames* e *tablets*.

“A proliferação da tecnologia transcendeu as fronteiras dos países e permeou, significativamente, todas as classes sociais, modificando, drasticamente, a forma como as pessoas produzem, trabalham, se divertem e interagem com os outros” (WIGDOR; WIXON, 2011, p. 3).

Apesar do acelerado avanço referente ao poder de processamento, diminuição dos componentes de *hardware* e custo dos computadores, a interface não tem evoluído condizentemente aos aspectos citados anteriormente. No entanto, é notável que nos últimos anos o progresso neste contexto tem tornado a relação com as interfaces mais intuitiva e amigável. Todavia, ao buscar o conceito de interface, entende-se que esta atua como uma superfície de contato entre o ser humano e o computador, “permitindo ao usuário obter uma visão panorâmica do conteúdo, navegar na massa de dados sem perder a orientação e, por fim, mover-se no espaço informacional de acordo com seus interesses” (BONSIEPE, 1997, p.59). Fato este que nem sempre se concretiza, visto que interagimos diariamente com diferentes interfaces, muitas vezes essas experiências cotidianas tornam-se frustrantes devido às interfaces mal desenvolvidas.



Neste contexto o *design* de interação está inserido, com objetivo de “fornecer suporte às atividades cotidianas das pessoas, seja no lar ou trabalho, criando experiências que melhorem e estendam a maneira como as pessoas trabalham, se comunicam e interagem” (PREECE et al, 2005, p.28).

Perante o paradigma de evolução das interfaces, separa-se a progressão das interfaces em três fases:

### **2.2.1 Interface de Linha de Comando (CLI)**

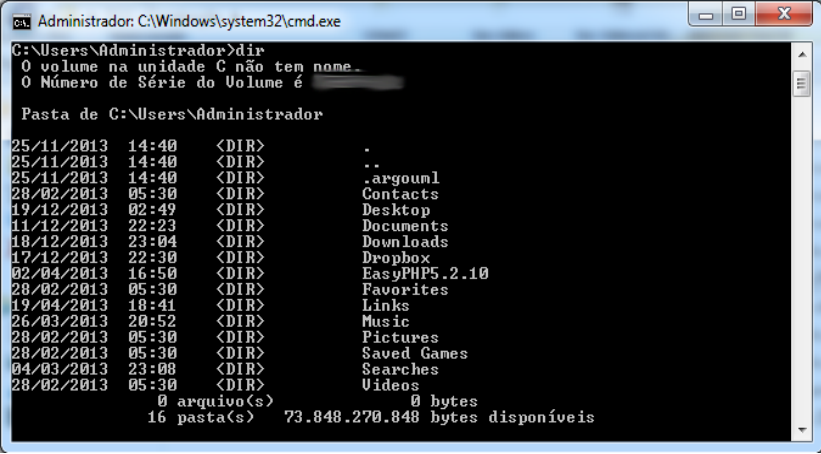
O conceito de CLI(*command-line interface*), conforme Figura 3, utilizado nos *mainframes* a partir de meados da década de 1960 foi originado das máquinas de escrever eletromecânicas chamadas teletipos, utilizadas desde a década de 1950 na transmissão de dados.

Este modelo era largamente exclusório, pois apenas indivíduos com conhecimento prévio em linguagem de programação estavam aptos a interagir com essas interfaces nada amigáveis (LANDLEY; RAYMOND, 2004).

Apesar da evolução das interfaces seguirem o caminho para interações mais visuais e físicas, o CLI continua sendo utilizado em menor abrangência nos sistemas operacionais. Fato que acontece devido as suas vantagens como baixa necessidade de recursos computacionais, maior velocidade de navegação pela interface e maior controle sobre o sistema operacional.

O aprendizado e a produtividade na utilização de um sistema se dão através da prática diante do mesmo. Dessa maneira, sistemas que dispõem de recursos de CLI costumam apresentar uma grande curva de aprendizagem, uma vez que é imprescindível que o usuário se

familiarize e memorize os comandos, além do fato que idiomas diferentes estabelecem dificuldades que não permitem a universalização de uma interface desse modelo. Apesar disso, interfaces CLI reduzem o número de cliques para realizar as mesmas tarefas em uma interface gráfica.



```

Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe

C:\Users\Administrador>dir
0 volume na unidade C não tem nome.
0 Número de Série do Volume é ██████████

Pasta de C:\Users\Administrador

25/11/2013  14:40    <DIR>          .
25/11/2013  14:40    <DIR>          ..
25/11/2013  14:40    <DIR>          .argouml
28/02/2013  05:30    <DIR>          Contacts
19/12/2013  02:49    <DIR>          Desktop
11/12/2013  22:23    <DIR>          Documents
18/12/2013  23:04    <DIR>          Downloads
17/12/2013  22:30    <DIR>          Dropbox
02/04/2013  16:50    <DIR>          EasyPHP5.2.10
28/02/2013  05:30    <DIR>          Favorites
19/04/2013  18:41    <DIR>          Links
26/03/2013  20:52    <DIR>          Music
28/02/2013  05:30    <DIR>          Pictures
28/02/2013  05:30    <DIR>          Saved Games
04/03/2013  23:08    <DIR>          Searches
28/02/2013  05:30    <DIR>          Videos
             0 arquivo(s)          0 bytes
             16 pasta(s)      73.848.270.848 bytes disponíveis
  
```

**Figura 3 – Exemplo CLI(command-line interface)**

Fonte: Elaborado pelo autor

## 2.2.2 Interface Gráfica de Usuário (GUI)

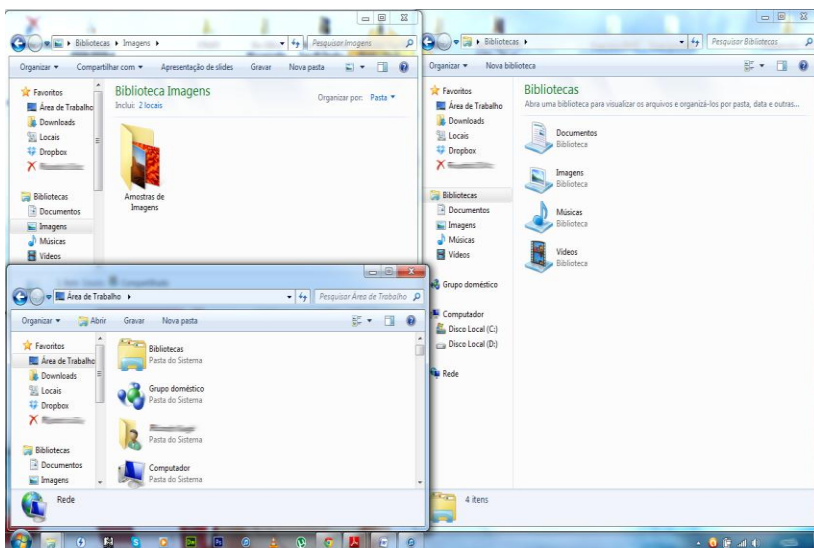
O surgimento das primeiras *graphical user interfaces* (GUI) ocorreu em meados da década de 1980, a partir do incremento de componentes gráfico-eletrônicos. Conforme Landley e Raymond (2004), as GUIs são nada mais que interfaces gráficas que remontam metáforas do cotidiano do usuário, fazendo com que a interação se torne mais amigável.

O paradigma GUI chegou para substituir comandos arbitrários que precisavam ser memorizados, pela manipulação direta de objetos em

uma tela, como demonstrado na Figura 4. Dessa maneira, tornando o ambiente mais familiar, facilitando a realização de múltiplas tarefas, além de aproximar a tecnologia de pessoas sem amplo conhecimento técnico e iniciantes, no intuito de diminuir a curva de aprendizagem, a qual era íngreme para os utilizadores de CLI.

A GUI foi responsável pela expansão dos computadores em escala global, sendo considerada até hoje como a essência da interação humano-computador. A utilização do *mouse* como periférico de entrada de dados e o paradigma de WIMP (*window, icon, menu, pointing device*), se consolidaram intrinsecamente ao surgimento da GUI.

Conforme Myers; Hudson e Pausch (2000) as técnicas convencionais de GUI não se adéquam as formas de plataformas interativas emergentes, como em aplicações para *displays* pequenos como telas de portáteis.



**Figura 4 – Exemplo GUI(graphical user interfaces)**

Fonte: Elaborado pelo autor.

### **2.2.3 Interface Natural do Usuário (NUI)**

O paradigma das interfaces naturais do usuário (NUI) encontra-se em uma posição similar a que ocupava as interfaces gráficas no início dos anos 80 e conforme Wigdor; Wixon (2011) defendem, as interfaces naturais prometem reduzir profundamente as barreiras encontradas na interação humano-computador enquanto, simultaneamente, concedem mais poder e controle ao usuário. Dessa maneira, gradativamente as interfaces naturais serão incorporadas como uma interface comum para usuário.

Embora a expansão das NUIs atualmente no mercado seja grande, não significa que as mesmas substituirão completamente as GUIs. Assim como ocorreu na transição das CLIs para GUIs, a tendência é que NUIs e GUIs estejam cada vez mais mescladas dentro de sistemas, pois as interfaces gráficas ainda se fazem úteis principalmente por sua eficiência em funções especializadas. Desta forma, infere-se que as NUIs desempenharão funções mais gerais dentro dos sistemas, visto que são mais fáceis de aprender, pois se baseiam em comportamentos naturais e cotidianos do usuário. Já as interfaces gráficas continuarão desempenhando funções especializadas onde requerem uma maior precisão, tais como entrada de dados.

A Interação Natural trata de criar sistemas que entendem ações naturalmente utilizadas pelas pessoas para se comunicar, enquanto permite aos usuários interagir entre eles e com o ambiente a seu redor (VALLI, 2005). Neste contexto, as interfaces naturais propiciam um ambiente mais agradável para que usuários novatos e inexperientes se tornem, rapidamente e sem esforço significativo, usuários proficientes.

Segundo Valli (2005) afirma que, por usar ações comumente utilizadas na vida real, a Interface Natural persuade os usuários que eles não estão lidando com o abstrato, mídia digital, e sim com o físico, objetos reais. Este fato acaba por reduzir a carga cognitiva, resultando em uma maior atenção ao conteúdo. Assim, o usuário tem a sensação, ao utilizar uma interface natural bem elaborada, que faz parte do sistema justamente por se tratar de uma experiência fluida e estimulante.

O grande propósito de uma interface natural é possibilitar ao usuário compreender, interagir e sentir-se fluente logo na primeira experiência com o sistema, não necessitando executar várias tentativas ou praticar um tempo. Já conforme Wigdor; Wixon (2011) afirmam, ao pensar em uma interface natural, a mesma não deve imitar ou copiar paradigmas já existentes, mas sim proporcionar uma experiência autêntica ao usuário que resgate as habilidades ligadas ao ser humano.

Para que as características descritas no parágrafo anterior sejam aplicáveis, Wigdor; Wixon (2011) afirmam que as interfaces naturais do usuário (NUI) devem, obrigatoriamente, apresentar três características fundamentais: serem agradáveis, direcionar a proficiência e ser apropriada ao contexto. Além das características fundamentais ditas por Wigdor e Wixon, é necessário levar em conta para o desenvolvimento de uma interface natural eficaz as distintas capacidades de memória das pessoas.

Sweller (1988) explica em sua Teoria da Carga Cognitiva que a capacidade de memória de trabalho, a qual limita a quantidade de tarefas que conseguimos realizar ao mesmo tempo, varia de pessoa para pessoa. Desta forma, o autor indica que determinadas atividades de aprendizagem exigem maior capacidade de memória de trabalho. Em

conjunto ao princípio que a memória de trabalho é uma característica limitada, o aprendizado pode se tornar ineficaz muitas vezes caso seja exigida muita memória de trabalho, limitando a quantidade de tarefas simultâneas que o usuário pode realizar.

A partir dessa teoria e conforme o conceito de carga cognitiva que está intrinsecamente ligado à medida de memória de trabalho utilizada ao realizar uma tarefa, Sweller; Van Merriënboer e Paas (1998) afirmam a existência de três tipos de carga cognitiva:

- Carga cognitiva intrínseca: diz respeito à dificuldade e complexidade ligada ao assunto ou tarefa.
- Carga cognitiva natural: carga gerada através das atividades de ensino que beneficiaram a aprendizagem da interface.
- Carga cognitiva externa: carga gerada de acordo com a maneira que a informação é apresentada ao usuário, isto é, por meio das habilidades utilizadas na interação de uma interface. Comumente desperdiça recursos mentais que poderiam ser direcionados à carga cognitiva natural.

Para o desenvolvimento de uma interface, especialmente uma interface natural, faz-se necessário que a mesma possua características que evidenciem a carga cognitiva natural e reduza a carga cognitiva externa, à medida que a carga cognitiva intrínseca mantenha-se em um nível mediano. Busca-se desta forma prezar pela utilização de habilidades simples nessas interfaces, como o disparar de um comando por meio da voz, visto que esse tipo de habilidade exige uma pequena carga cognitiva do usuário facilitando o aprendizado. Em contrapartida,

habilidades compostas, como a busca por uma pasta através do mouse para inicializar um aplicativo, apresentam maior dificuldade de aprendizado, visto que demandam maior carga cognitiva externa ao exigir que o usuário formule um pensamento para realizar a tarefa.

Um bom exemplo de uma interface natural que por meio das características destacadas nos parágrafos anteriores proporciona ao usuário uma experiência natural e fluida é a plataforma Microsoft Kinect.



**Figura 5 – Exemplo utilização Microsoft Kinect**

Fonte: [www.xbox.com](http://www.xbox.com)

## 2.3 DISPOSITIVO MICROSOFT KINECT

Introduzido ao público durante a E3(*Electronic Entertainment Expo*) em 2009 com o nome “Projeto Natal” e lançado no mercado em novembro de 2010, o Kinect é um dispositivo de interface natural desenvolvido pela empresa israelense PrimeSense em colaboração com a norte-americana Microsoft, com intuito de ser um acessório para o console Xbox360.

O nome “Projeto Natal” fazia referência à cidade brasileira de Natal, uma vez que um dos diretores de projetos da Microsoft chamado Alex Kipman é brasileiro. Alex escolheu intitular o projeto com esse nome, pois além de fazer referência a cidade brasileira, “natal” em latim significa “nascimento” (KINECT, 2010).

Impulsionada pelo vertiginoso sucesso dos dispositivos de reconhecimento de movimentos Wiimote e PsMove(Figura 6), a Microsoft lançou o Kinect com o propósito de entrar na briga por esse novo nicho de mercado. No entanto, além da intenção original de propiciar uma nova maneira de interagir nos jogos baseados em gestos e comandos de voz, o anúncio do Kinect ocasionou grandes expectativas nas comunidades acadêmicas de visão computacional e computação gráfica. Desde então pesquisadores tem explorado o potencial do Kinect em diversas áreas do conhecimento, por intermédio de implementações de aplicações.





**Figura 6 - Controles Wiimote e PsMove respectivamente.**

Fonte: <http://gorumors.com/wp-content/uploads/2010/09/playstation-move-wii-remote.jpg>

Os dados adquiridos possuem diferentes e complementares naturezas, combinando geometria com atributos visuais. Por esta razão, o Kinect é uma ferramenta que pode ser utilizada em aplicações de diversas áreas, tais como: Computação gráfica, processamento de imagens, visão computacional e integração homem-máquina. (CRUZ, et al., 2012). A afirmação de Cruz et al (2012) demonstra a versatilidade do Kinect, justificando os esforços de pesquisadores e desenvolvedores em explorarem ao máximo essa nova tecnologia.

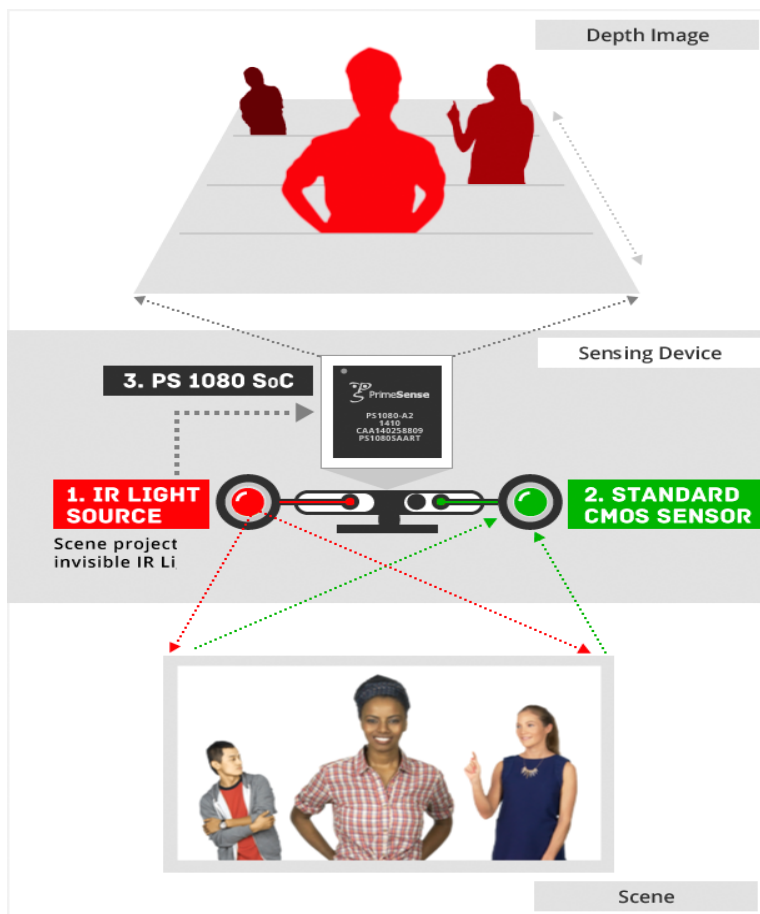
A popularização do desenvolvimento de aplicações para o Kinect se deve em grande parte a comunidade defensora do código-aberto, a qual após o lançamento do dispositivo se mobilizou rapidamente no intuito de destravar o Kinect e posteriormente criar ferramentas de apoio ao desenvolvedor. Essas atitudes atraíram a atenção das empresas desenvolvedoras do Kinect. Em reconhecimento aos interesses e esforços da comunidade *open source*, um mês após o lançamento do Kinect, a PrimeSense liberou códigos-fontes referentes a

diversos componentes do projeto. Em contrapartida, a Microsoft anunciou em fevereiro de 2011 que lançaria uma versão não comercial de um SDK do Kinect para Windows. Posteriormente, no início de 2012 a Microsoft lançou no mercado o Kinect *for* Windows, uma versão para computadores pessoais com o aprimoramento do SDK oficial da empresa norte-americana.

O grupo de pesquisadores israelenses Zeev Zalevsky, Alexander Shpunt, Aviad Maizels e Javier Garcia, desenvolveu em 2005 a tecnologia por trás do sensor de profundidade do Kinect (ZALEVSKY, et al. 2007). Desse grupo, dois membros são fundadores da empresa de interação natural PrimeSense.

O sistema do sensor de profundidade desenvolvido pela PrimeSense baseia-se na interpretação de gestos específicos, o que proporciona o controle de dispositivos eletrônicos a mãos livres, isto é, sem a necessidade de mediação por controles remotos. Para que essa tecnologia seja possível, um projetor infravermelho (IR), juntamente a uma câmera e um microchip especial que realiza o rastreamento do movimento de objetos e indivíduos tridimensionalmente, são acoplados em um só dispositivo.

Já no que tange a construção da profundidade, o sistema intitulado “Light Coding” pela PrimeSense realiza por intermédio do projetor infravermelho captura de imagens com padrões diferentes, as quais posteriormente são trianguladas e reconstruídas formando a percepção de profundidade do sistema (PRIMESENSE, 2013).



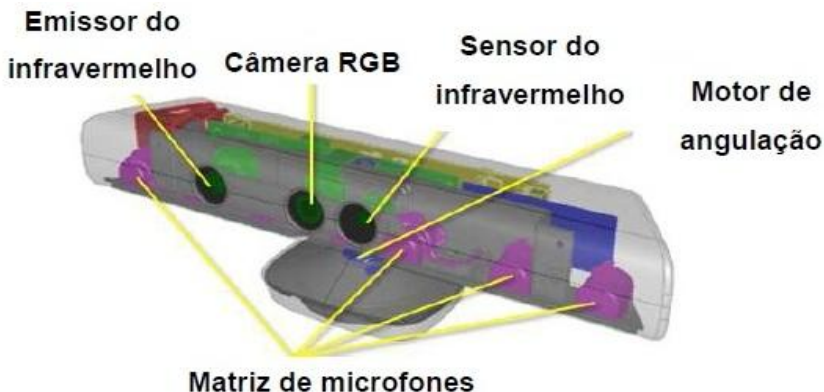
**Figura 7 - Funcionamento da aquisição da percepção de profundidade**

Fonte: <http://www.primesense.com/solutions/technology/>

### 2.3.1 Arquitetura do Microsoft Kinect

Como já afirmado anteriormente, a tecnologia do sensor de profundidade foi concebida pela empresa israelense PrimeSense. Já a tecnologia de software foi contemplada por uma empresa subsidiada pela Microsoft chamada Rare. Essas tecnologias acopladas em um

hardware de ponta estruturam uma arquitetura bem constituída, possuindo como intuito a captura e processamento de dados para o reconhecimento de pessoas e objetos.



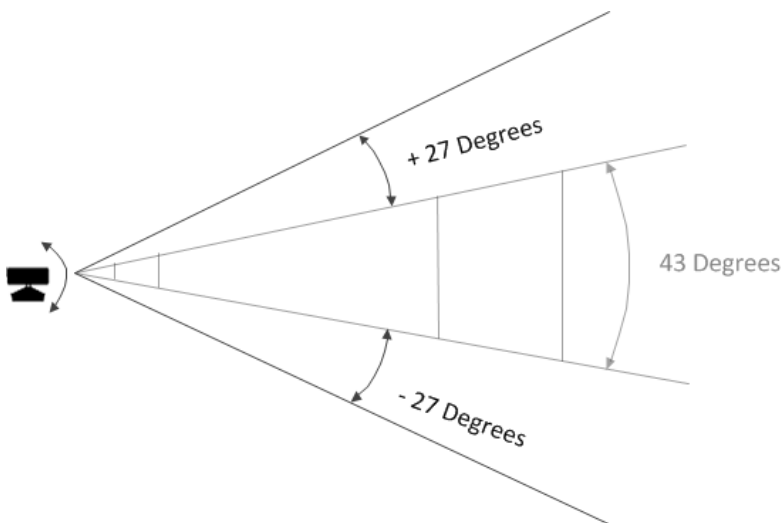
**Figura 8 - Componentes de hardware do Kinect.**

Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).

Conforme os dados oficiais fornecidos pela Microsoft Msdn (2012), a arquitetura física do dispositivo Microsoft Kinect é constituído por:

- Uma câmera RGB com resolução máxima de 1280x960 que captura imagens coloridas.
- Um emissor infravermelho e um sensor infravermelho de profundidade. Esses dois componentes trabalham em conjunto, para isso o emissor IR emite feixes de luz infravermelha e o sensor de profundidade IR lê esses feixes e os reflete de volta para o sensor. Os feixes refletidos são convertidos em informações de profundidade da medição da distância entre o objeto e o sensor, propiciando a captura de uma imagem de profundidade dos objetos.

- Uma matriz de microfones, que contém quatro microfones para a captura de som. A presença de quatro microfones no Kinect possibilita funções como gravação do som, assim como localizar a fonte de som e a direção da onda de áudio.
- Um motor de inclinação que suporta a inclinação do sensor para um alcance adicional de  $\pm 27$  graus. Esse recurso proporciona um ganho considerável no espaço para interação à frente do sensor (Figura 9).



**Figura 9 - Motor de inclinação (tilt motor) Kinect**

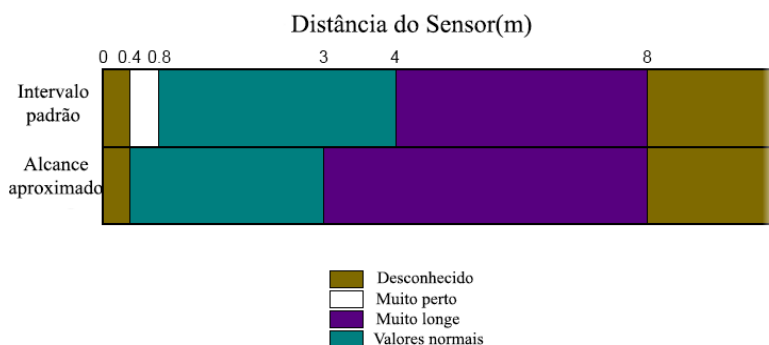
Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012)

Ademais ao que foi elucidado quanto ao ângulo de visão, é importante também acrescentar o fato que o campo de visão horizontal é de aproximadamente 57 graus. Apesar dos componentes fornecerem um bom campo de visão, o sensor de profundidade possui algumas

limitações no que se refere às distâncias para detecção de objetos e indivíduos no recinto, conforme demonstrado nas Figuras 11 e 12.

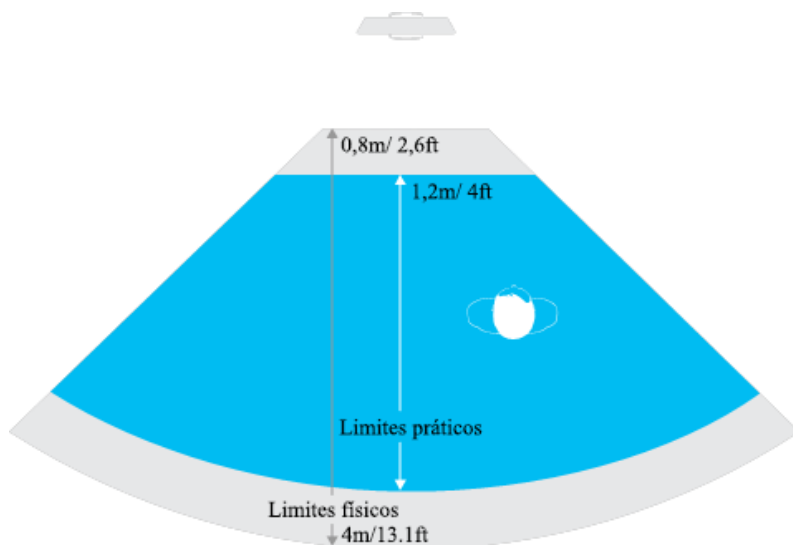
A proximidade em excesso entre os objetos e os sensores acarreta na criação de pontos muito juntos pelo projetor infravermelho. Em consequência disso o Kinect não consegue mensurar essas distâncias. O inverso ocorre quando o objeto se encontra longe em demasia dos sensores, isto é, o espaçamento entre os pontos gerados pelo sensor infravermelho é grande, acarretando no decréscimo da precisão dos sensores.

Segundo Microsoft Msdn (2012) o sensor de profundidade possui duas faixas de execução: o “intervalo padrão” (*default range*) e o “alcance aproximado” (*near range*). O “intervalo padrão” (*default range*) está disponível tanto para a versão do Kinect para o Xbox360, quanto para o Kinect *for* Windows. Em contrapartida, o “alcance aproximado” (*near range*) foi implementado exclusivamente para a versão do Kinect *for* Windows. As características descritas neste parágrafo se fazem presente na Figura 10.



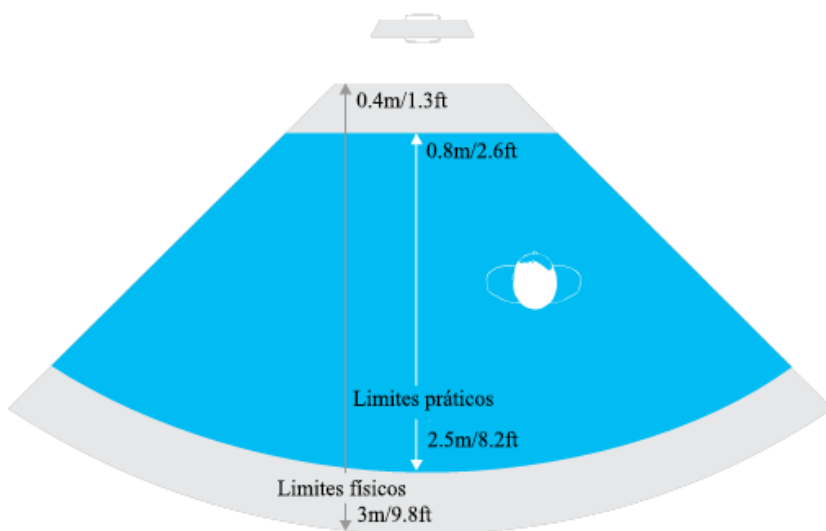
**Figura 10 - Distâncias suportadas pelo sensor de profundidade**

Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).



**Figura 11 - Campo de visão horizontal em default range**

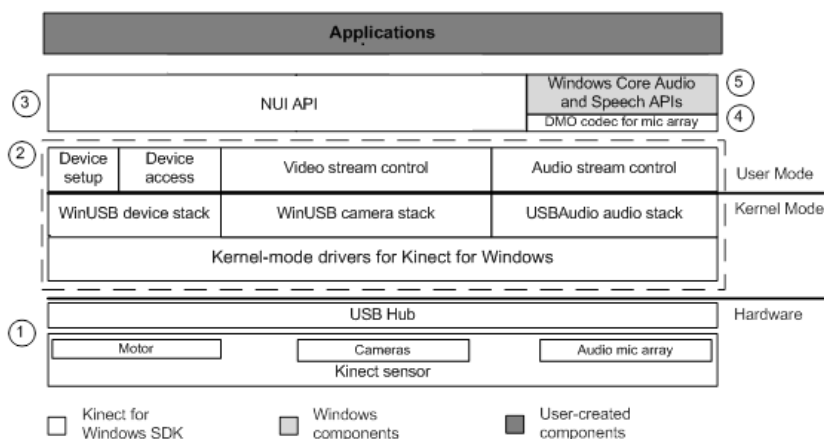
Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).



**Figura 12 - Campo de visão horizontal em near range**

Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).

Explicitada a arquitetura física do dispositivo da Microsoft, é importante entender por intermédio da elucidação da arquitetura lógica do *Kinect for Windows SDK*, como os componentes são organizados e integrados para o correto funcionamento de aplicações para a plataforma Kinect.



**Figura 13 - Arquitetura lógica Kinect**

Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).

Conforme com Microsoft Msdn (2012), os componentes organizados na figura 13 abrangem:

1. *Hardware Kinect* – os componentes de *hardware*, tais como Kinect e o conector USB por meio do qual o Kinect está conectado ao computador.
2. *Drivers Kinect* – são os *drivers* do Windows para o Kinect, os quais são instalados durante o processo de instalação do SDK.
  - A matriz de microfones do Kinect se mantém como um dispositivo em modo *kernel*. Este pode ser acessado



por meio de APIs (Application Programming Interface) de áudio padrão do Windows;

- Controles de *streaming* de áudio de vídeo (cor, profundidade e esqueleto);
  - Funções de enumeração de dispositivos que permite a um aplicativo utilizar mais de um Kinect.
3. Componentes de áudio e vídeo – Interface natural para usuário de Kinect fazer rastreamento do esqueleto, áudio, imagem de vídeo e profundidade.
  4. *DirectX Media Object(DMO)* – codec que permite a formação do feixe e a localização da fonte de áudio.
  5. *APIs do Windows* – SDK do Windows e da Microsoft *Speech*.

## 2.4 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO PARA KINECT

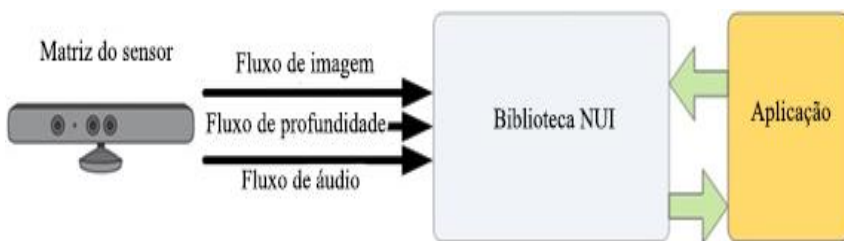
De acordo com CRUZ et al. (2012) as principais funcionalidades utilizadas em aplicações e desenvolvimento de bibliotecas para Kinect estão disponíveis nos seguintes projetos: OpenNI, OpenKinect e Microsoft Kinect *for* Windows. Dessa maneira, decidiu-se buscar embasamento para compreender o escopo desses projetos.

### 2.4.1 Kinect for Windows SDK

Lançada sua primeira versão pela Microsoft em junho de 2011, o Kinect *for* Windows consiste no *hardware* Kinect e o Kinect *for* Windows SDK, o qual suporta a construção de aplicações com C++, C# ou *Visual Basic*. O Kinect *for* Windows SDK oferece vários recursos,

tais como: reconhecimento de esqueleto sentado, rastreamento de esqueleto, rastreamento facial e reconhecimento de voz (CRUZ, et al., 2012).

O *Kinect for Windows* se trata da ferramenta oficial de desenvolvimento da Microsoft para o dispositivo Kinect. Dessa forma sua utilização é compatível apenas com sistemas operativos da empresa norte-americana.



**Figura 14 - Interação hardware e software com a aplicação**

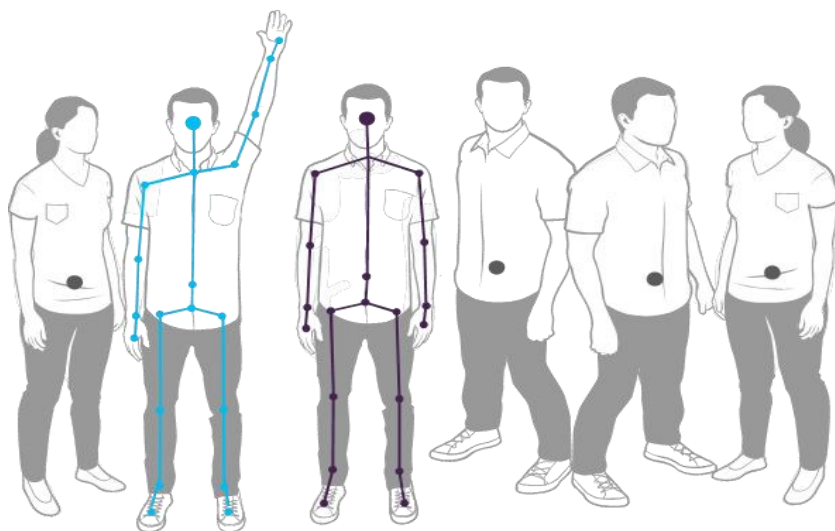
Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).

De acordo com a documentação Microsoft Msdn (2012), os componentes do SDK são:

- Drivers e documentação técnica para implementação de aplicações utilizando Kinect
- APIs de referência e documentação para implementação em C++, C# ou Visual Basic.
- Amostras expondo boas práticas para utilizar o Kinect
- Exemplos de códigos que dividem as amostras em tarefas do usuário

O *Kinect for Windows* possibilita no rastreamento esquelético, o reconhecimento de até seis usuários. Contudo, somente dois podem ser

mapeados em detalhes, capturando as posições das articulações e acompanhando o movimento de dois usuários simultaneamente. (Figura 15).

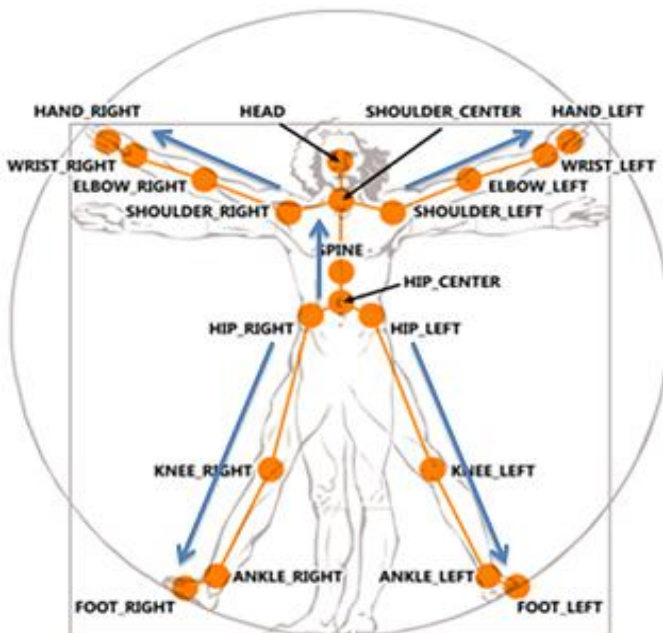


**Figura 15 - Kinect reconhece até 6 pessoas.**

Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).

Para os usuários restantes, conforme Microsoft Msdn (2012) o Kinect estabelece um estado em que as informações referentes à posição do usuário são mantidas, no entanto o dispositivo não mapeia as articulações.

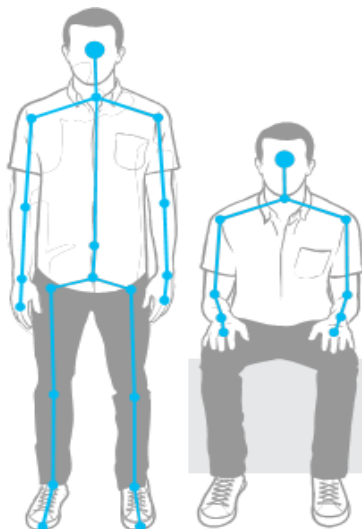
Ademais, para o mapeamento detalhado do usuário o SDK é capaz de fornecer a informação da distância e posição do mesmo. Para isso o sensor é apto na identificação de até 20 diferentes articulações do corpo humano, conforme descrito na Figura 16.



**Figura 16 - Articulações detectáveis pelo Kinect SDK**

Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).

Apesar da identificação usual de 20 articulações em jogos e aplicações convencionais, ao decorrer das atualizações do SDK para o melhor desempenho do “*near mode*” foi implementado o modo “sentado” (*seated mode*). Dessa maneira, o rastreamento esquelético possui dois modos, o “padrão” (*default*) que reconhece 20 articulações e o “sentado” (*seated mode*) que reconhece 10 articulações, respectivamente demonstrados na Figura 17.



**Figura 17 - Modos de rastreamento**

Fonte: (MICROSOFT MSDN, 2012).

### 2.4.2 OpenNI

OpenNI (*Open Natural Interaction*) é um *framework* multi-plataforma e multi-linguagem que define APIs para implementação de aplicações utilizando Interação Natural. O objetivo principal do OpenNI é formar uma API padrão que permita a comunicação entre os sensores de áudio e visão e os *middlewares* de percepção de áudio e visão, que são ferramentas que funcionam como mediadores entre um software e demais aplicações, (CRUZ, et al., 2012).

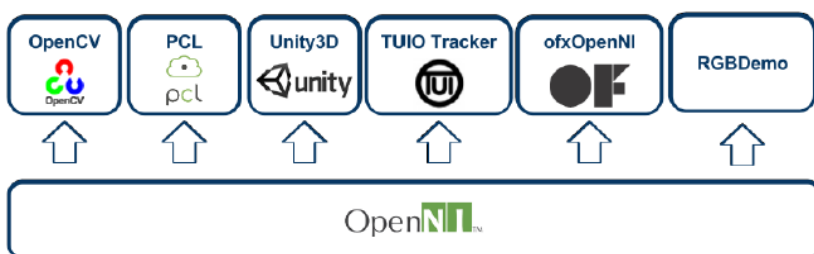
OpenNI é composta por dois conjuntos de APIs, um para ser implementado pelos dispositivos sensoriais e o outro pelos componentes de *middleware*, proporcionando a quebra da dependência entre os sensores e os *middlewares*. Este processo permite que o

desenvolvimento de aplicações seja realizado sem trabalho adicional de aplicações que funcionam com diferentes *middlewares*.

O *framework* OpenNI é utilizado por diversos projetos nas etapas finais de desenvolvimento(*back-end*), tais como: OpenCV, Unity3D, TUIO *tracker implementations*, PCL, entre outros. Estes projetos abrangem as mais diferentes áreas.

OpenCV, por exemplo trata-se de uma biblioteca totalmente livre para uso acadêmico e comercial para o desenvolvimento de projetos de visão computacional, elaborada pela Intel em 2000. O OpenCV trabalha em multiplataformas e pode ser desenvolvida em linguagens como C, C++, Python e Java(OPENCV, 2000).

Já o Unity 3D diz respeito a um motor de jogos 3D proprietário, multiplataforma, que combinado ao OpenNI propicia desenvolvimento de jogos e aplicações 3D que explorem características de dispositivos de interface natural(UNITY3D, 2013).



**Figura 18 - Bibliotecas que utilizam OpenNI**

Fonte: (CRUZ, et al., 2012)

O conceito por trás do OpenNI é composto por três camadas distintas. A camada superior representa o software que implementa aplicações de interação natural. A camada do meio representa o OpenNI,

que fornece interfaces de comunicação para a interação com os sensores e componentes de *middleware*. Já a camada inferior se refere aos dispositivos de *hardware* que capturam áudio e elementos visuais.



**Figura 19 - Visão do conceito do OpenNI**

Fonte: (OPENNI, 2013).

A API permite que vários componentes sejam registrados na camada do meio (OpenNI). Estes componentes são intitulados de módulos e são utilizados para produzir ou tratar dados sensoriais. A API possui suporte atualmente para os módulos de sensores e componentes de *middlewares*, os quais respectivamente incluem:

**Módulos de Sensor:**

- Sensor 3D;

- Câmera RGB;
- Câmera Infravermelha;
- Dispositivo de áudio.

### **Componentes de *Middleware*:**

- *Middleware* de análise de corpo inteiro;
- *Middleware* de análise de pontos da mão;
- *Middleware* de detecção de gestos;
- *Middleware* analisador de cena.

O OpenNI apresenta nós de produção, os quais podem ser conceituados como um conjunto de componentes definidos pelo OpenNI para o gerenciamento do processo de criação de dados requeridos pelas aplicações com interação natural a partir de dados brutos (OPENNI, 2010).

A API de nós de produção define a linguagem, em contrapartida, a lógica da geração de dados deve ser implementada pelos módulos que se conectam a OpenNI (OPENNI, 2010).

Cada nó de produção possui um tipo e está relacionado ao sensor ou ao *middleware*:

### **Sensor**

- **Dispositivo:** representa um dispositivo físico, habilita configuração do dispositivo;
- **Gerador de profundidade:** cria imagem que contém informações de profundidade;
- **Gerador de Imagem:** gera mapas de imagem (*image-maps*);
- **Gerador de Infravermelho:** gera mapas de imagem (*image-maps*) a partir do sensor infravermelho;



- **Gerador de áudio:** cria fluxo (*stream*) de áudio.

### *Middleware*

- **Gerador de Alerta de Gestos:** cria funções com retornos (*callbacks*) para aplicações quando gestos específicos são identificados;
- **Analisador de Cena:** Analisa a cena, incluindo separação do primeiro plano (*foreground*) do fundo (*background*);
- **Gerador de Pontos de mão:** Suporta detecção e rastreamento de pontos da mão;
- **Gerador de Usuário:** Cria representação de um corpo em cena 3D.

Além dos nós de produções descritos acima, o OpenNI define recursos opcionais. Os recursos suportados atualmente pelo OpenNI são:

- **Visão alternativa (*Alternative View*):** Permite a qualquer tipo de gerador de mapas transformarem seus dados para aparecerem como se o sensor estivesse em outro lugar;
- **Recorte (*Cropping*):** Permite ao gerador de mapas selecionar uma área do quadro (*frame*) e obtê-la como saída, ao invés do *frame* todo;
- **Sincronia de *frame* (*Frame Sync*):** Permite a sincronia de *frames* de dois sensores;
- **Espelhar (*Mirror*):** Permite o espelhamento dos dados produzidos por um gerador;
- **Deteção de Pose (*Pose detection*):** Permite o reconhecimento de posições específicas do usuário;

- **Esqueleto (*Skeleton*):** Permite obter como saída dados do esqueleto do usuário. Esses dados incluem a localização das articulações do esqueleto e posicionamento do mesmo;
- **Posição do Usuário (*User Position*):** Permite ao gerador de profundidade otimizar o mapa de profundidade (*depth map*) de saída que é criado para uma área específica da cena;
- **Estado de Erro (*Error State*):** Permite ao nó reportar um estado de erro;
- **Bloqueio Consciente (*Lock Aware*):** Permite ao nó ser travado fora do limite do contexto.

### 2.4.3 OpenKinect

OpenKinect diz respeito a uma comunidade *open source* para pessoas interessadas em colaborar com desenvolvimento de bibliotecas livres para o Kinect, no intuito de utilizar em diversas plataformas, tais como: Windows, Linux e Mac (OPENKINECT, 2011).

Atualmente o principal objetivo da OpenKinect é fornecer códigos para o software Libfreenect. Este software se trata de uma biblioteca central para acessar a câmera USB do Microsoft Kinect, fornecendo acesso no momento à câmera RGB e imagens de profundidade, motor, acelerômetro e o LED. Os trabalhos para acessar o áudio estão em andamento.

A libfreenect é escrita em C, no entanto fornece modificações que permitem o desenvolvimento também para linguagens como, Python, ActionScript, C++, C# (*C Sharp*) e Java.

### 3 TRABALHOS CORRELATOS

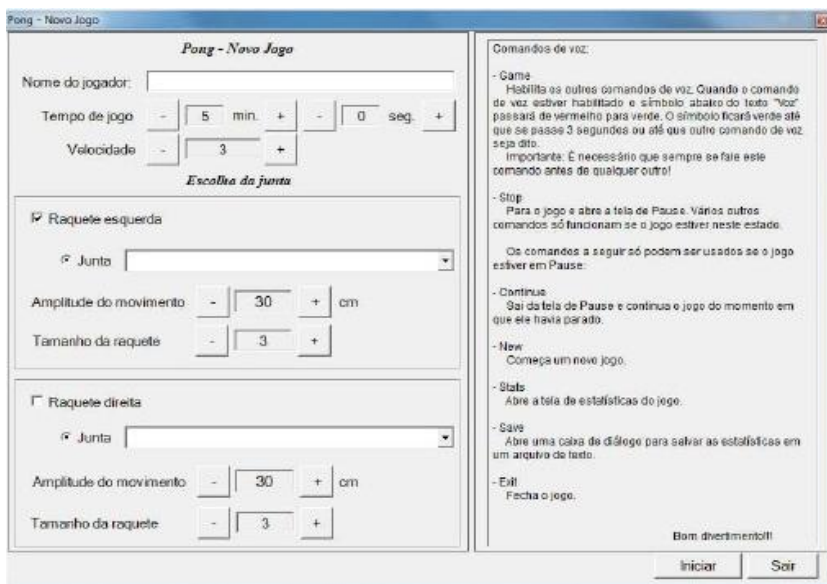
Neste capítulo é apresentada uma série de estudos com temáticas similares a proposta desse trabalho, com intuito de demonstrar as possibilidades que os estudos com Kinect possuem, assim como ressaltar os resultados e contribuições externadas por esses estudos. Os mesmos foram coletados durante a etapa de análise literária e possuíram papel primordial na inspiração para idealizar a proposta de sistema desse trabalho.

#### 3.1 Desenvolvimento de um jogo eletrônico para reabilitação utilizando um sensor de som e movimento (Kinect)

Elaborado na Instituição de Ensino Superior (IES) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, o objetivo deste trabalho é projetar e implementar um jogo utilizando o sensor de som e movimento Kinect para ser utilizado em reabilitação (FERRAZ; YAMASHITA, 2012). Motivados pelo fato que pacientes submetidos a processos de reabilitação precisam realizar diversas sessões com movimentos específicos, o que pode se tornar um fator desmotivante ao decorrer do tratamento. Em contrapartida a criação de um software para a plataforma Microsoft Kinect além de, se bem construído, servir como fator motivacional aos pacientes, também pode aumentar a eficácia da reabilitação propiciando melhorias no processo tanto para o paciente quanto ao fisioterapeuta.

Conforme Lange et al. (2011) apud Ferraz e Yamashita (2012) “Graças à evolução tecnológica é possível usar *videogames* domésticos como ferramentas para reabilitação”. Com intuito de aproveitar esta

nova possibilidade que os *videogames* domésticos atuais propiciam, os autores adaptaram para a utilização no Kinect um jogo simples e de fácil compreensão chamado Pong, muito difundido na era do console Atari. O jogo tem como principal objetivo por intermédio de duas raquetes não permitir que uma bola ultrapasse o limite das mesmas. A finalidade com esse jogo foi implementar características que permitissem o paciente controlar ambas as raquetes por meio de até duas juntas distintas do corpo. Ademais, foram implementados outros parâmetros no jogo, tais como, intervalo de tempo e velocidade da bola que podem ser ajustados. A figura 20 mostra a tela de um novo jogo.



**Figura 20 - Tela de Novo Jogo**

Fonte: FERRAZ; YAMASHITA (2012).

Para tornar possível a implementação do jogo, Ferraz e Yamashita (2012) utilizaram as ferramentas oficiais de desenvolvimento

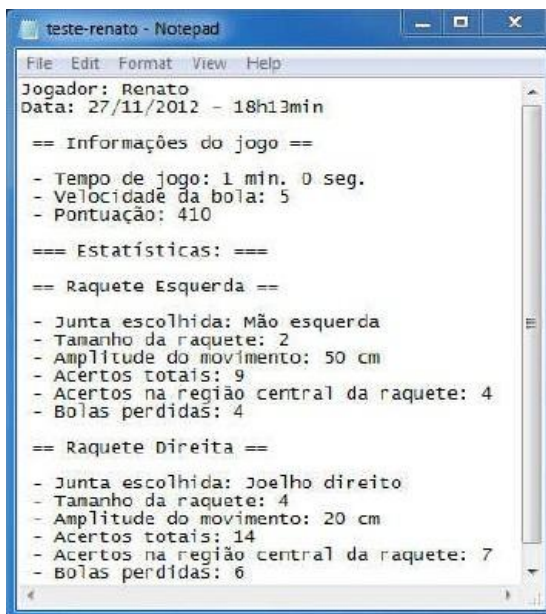
para a plataforma Kinect *for* Windows, isto é, utilizaram o programa Visual Studio 2010 em conjunto ao Kinect *for* Windows SDK 1.5. Por meio dessas ferramentas, além das características citadas no parágrafo antecedente, os autores desenvolveram a modalidade que permite ao paciente jogar contra o computador, ou seja, apenas com uma das raquetes. Além disso, os autores construíram um método para determinar a pontuação do jogador, elucidado através da seguinte fórmula.

$$\begin{array}{r}
 \text{Acertos no centro da raquete} \times 30 \\
 + \\
 \text{Acertos nas extremidades da raquete} \times 10 \\
 - \\
 \text{Bolas perdidas} \times 5 \\
 \hline
 \text{Resultado:}
 \end{array}$$

**Figura 21 – Fórmula de pontuação**

Fonte: Elaborado pelo autor

Acerca do *feedback* do sistema para com o paciente e o fisioterapeuta, Ferraz e Yamashita (2012) desenvolveram recursos de comandos de voz como “New” e “Save” que respectivamente dizem respeito aos comandos para iniciar um novo jogo e abrir uma caixa de diálogo para salvar as estatísticas do jogo em um arquivo texto. Na figura 22, pode-se observar um arquivo texto com estatísticas de um jogo.



```

teste-renato - Notepad
File Edit Format View Help
Jogador: Renato
Data: 27/11/2012 - 18h13min

== Informações do jogo ==
- Tempo de jogo: 1 min. 0 seg.
- Velocidade da bola: 5
- Pontuação: 410

=== Estatísticas: ===

== Raquete Esquerda ==
- Junta escolhida: Mão esquerda
- Tamanho da raquete: 2
- Amplitude do movimento: 50 cm
- Acertos totais: 9
- Acertos na região central da raquete: 4
- Bolas perdidas: 4

== Raquete Direita ==
- Junta escolhida: Joelho direito
- Tamanho da raquete: 4
- Amplitude do movimento: 20 cm
- Acertos totais: 14
- Acertos na região central da raquete: 7
- Bolas perdidas: 6

```

**Figura 22 - Arquivo texto estatísticas do jogo Pong**

Fonte: FERRAZ; YAMASHITA (2012).

No desfecho do trabalho, Ferraz e Yamashita (2012) inferem que mediante o conhecimento adquirido por meio dos estudos e implementações realizadas com a plataforma Microsoft Kinect, que foi possível desenvolver com êxito o software para reabilitação. Afirmam ainda que a ferramenta pode ser instalada facilmente, podendo ser usada na própria casa do paciente, visto que ele necessitará apenas de um computador com sistema operacional Windows 7 ou superior, o Kinect *for* Windows SDK 1.5, além do próprio Kinect.

Por fim, Ferraz e Yamashita (2012) constataram que o software se comportou de maneira eficaz, capturando o movimento de até duas juntas para associá-las ao movimento da raquete, além de demonstrar

níveis de dificuldade adequados a uma sessão de reabilitação, dispondo de parâmetros ajustáveis permitindo a adaptação a cada paciente.

### 3.2 Sistema de Reabilitação Fisioterapêutica baseada em Jogos com Interfaces Naturais

Produzido na Universidade Federal de Santa Maria, este trabalho contempla o processo de tomada de decisão que instigou a implementação de um jogo para apoiar à área fisioterapêutica utilizando o Microsoft Kinect.

O processo de reabilitação envolve exercícios repetitivos e por muitas vezes considerado exaustivo ou doloroso para o paciente, o que pode dificultar sua recuperação e em alguns casos causar a evasão ao tratamento (SILVA, et al. 2012). Neste contexto, o surgimento de NTICs(Novas Tecnologias da Informação e Comunicação) para detecção de movimentos a baixo custo, aliado ao interesse acerca da temática, movimentando discussões nos principais portais sobre desenvolvimento de jogos e interfaces naturais, impulsionaram os autores na realização desse trabalho.

Ademais, por meio de conhecimento alçado previamente, Silva et al. (2012) caracterizam que para o sucesso esses aplicativos devem gerar dados confiáveis sobre o movimento realizado, além de garantir que os movimentos executados no ambiente de jogo sejam relevantes à sua condição, adicionar ludicidade e dinamismo ao tratamento e principalmente adequar-se às limitações do paciente. No entanto, além de pacientes com dificuldades motoras providas de lesões físicas, existem aqueles com problemas neurais, cuja origem da deficiência motora é no cérebro. Esse tipo de desordem pode ser tratada por meio de

estímulos visuais, como representação correta do movimento, além de representação de movimentos realizados no cotidiano, conceitos que podem ser trabalhados por meio de jogos.

O sensor escolhido é um dos mais utilizados atualmente no desenvolvimento de jogos baseados em captura de movimento, pois tem um mecanismo de detecção com um grau de precisão adequado a proposta e financeiramente acessível (SILVA, et al. 2012). Para inferir esse raciocínio, Silva et al. (2012) primeiramente realizaram um estudo comparativo acerca das recentes soluções para criação de jogos voltados a reabilitação fisioterapêutica. Os autores buscaram a tecnologia que melhor propiciasse aplicações interativas e que o processo de mensuração de ângulos e amplitude de movimento de articulações do corpo, denominado goniometria, simplificasse o trabalho do fisioterapeuta.

Neste contexto, abordagens utilizando acelerômetros e visão computacional atrelada a *webcams* para estimar o movimento dos pacientes em seu campo de detecção foram averiguadas. Entretanto, essas soluções demandam limitações que envolvem a utilização de acessórios no paciente e calibração para obtenção de dados confiáveis. Já o Kinect possui uma abordagem baseada na interação natural, sem acessórios, além de a calibração ser feita pelo próprio Kinect.

Baseando-se nessas premissas, foi utilizado o Microsoft Kinect como plataforma para desenvolvimento de um sistema baseado em um jogo para apoio ao processo de reabilitação fisioterapêutica (SILVA, et al. 2012). Definiu-se que o jogo seria uma representação virtual do *nine hole peg test* para pacientes com distúrbios de movimentos dos braços e deficiência no movimento de abdução lateral de uma das metades do



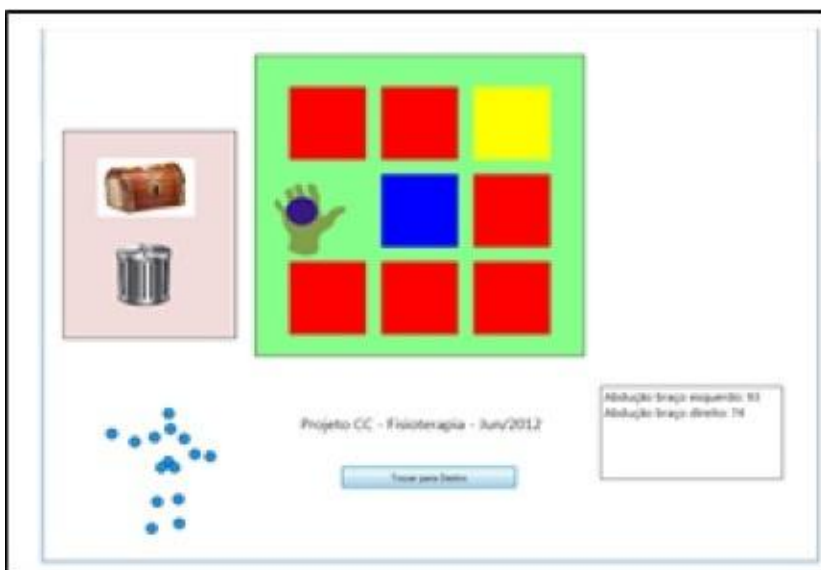
corpo (hemiplegia). Esta técnica é utilizada na fisioterapia para avaliação da coordenação motora, onde o paciente deve pegar objetos em um recipiente e colocá-los nos seus espaços demarcados, dentro de um tempo limite.

No decorrer do processo de desenvolvimento do jogo, conceitos foram adquiridos através de referenciais bibliográficos e junto aos fisioterapeutas. Os autores utilizaram técnicas de observação direta do tratamento regular, entrevistas com fisioterapeutas, *brainstorming* sobre *games* a serem abordados e coleta de opiniões de pacientes e fisioterapeutas a respeito das dificuldades do tratamento convencional.

Para a implementação das primeiras versões do jogo, foi utilizado o SDK Microsoft Kinect e o próprio formulário da Microsoft WPF (*Windows Presentation Foundation*) na linguagem C#. No entanto, para a versão final utilizou-se o motor de jogos “Unity 3D” juntamente com o *plugin* ZDK (*Zigfu Development Kit*) para fazer a integração com o Microsoft Kinect SDK. Além dessas ferramentas, foi implementado utilizando o MySQL um sistema de gerenciamento de banco de dados(SGBD). Por meio de uma arquitetura cliente-servidor os fisioterapeutas tem acesso remoto à base de dados para realizar a análise da evolução dos pacientes através do log dos jogos. O SGBD possui suporte multiusuário, visto que vários jogos podem ser executados de diferentes computadores ao mesmo tempo, possibilitando ao fisioterapeuta tratar individualmente as análises dos pacientes e seus *feedbacks* de evoluções.

Os primeiros protótipos eram ambientados em cenários 2D, contudo ao realizar testes de jogabilidade com pacientes hemiplégicos de diversos graus de deficiência, foram constatados problemas nos

resultados. Detectou-se a necessidade de elevar o grau de imersão do jogo, além de concluírem que a distância do jogador até o baú o qual contem os objetos não poderia ser fixa, uma vez que os pacientes possuem diferentes graus de deficiência, podendo não alcançar o objeto, assim necessitando que o jogo se adapte a dificuldade do paciente. Dessa forma o motor de jogos “Unity 3D” foi adotado nas implementações seguintes, explorando melhor o senso de realidade através de ambientes tridimensionais desenvolvidos com este motor gráfico. A Figura 23 representa um dos primeiros protótipos.

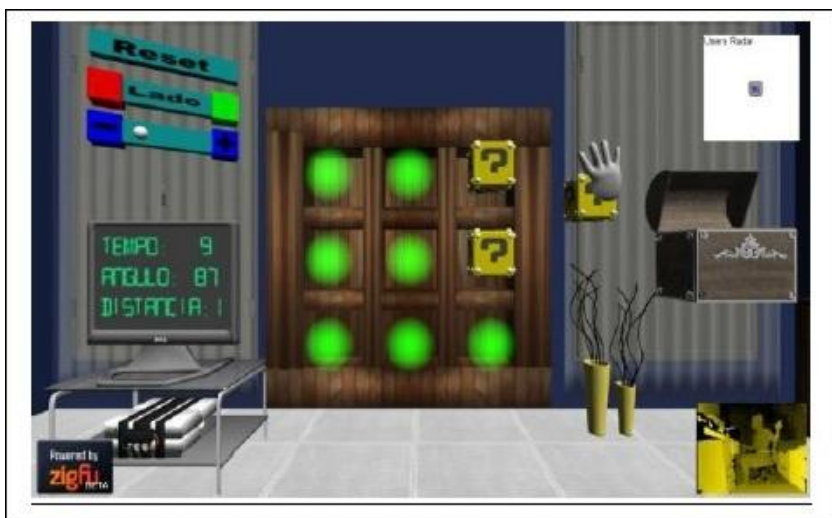


**Figura 23 - Protótipo de baixa fidelidade**

Fonte: (SILVA, et al. 2012).

Por fim, Silva et al. (2012) concluem que os requisitos levantados para desenvolver o jogo e os métodos computacionais empregados para esse trabalho viabilizaram uma representação

tridimensional do *nine hole peg test*. Estuda-se para trabalhos futuros junto a acadêmicos de fisioterapia, testes para validação do jogo criado para a posterior utilização em um sistema completo de apoio a reabilitação fisioterapêutica, além da criação de um *site* para consultar o banco de dados e o desenvolvimento de uma API para abstração da implementação de cálculos de goniometria, a comunicação com o ZDK e o sistema de armazenamento, com intuito de auxiliar o desenvolvedor na criação de jogos.



**Figura 24 - Versão final do jogo para pacientes hemiplégicos**

Fonte: (SILVA, et al. 2012)

3.3 A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities.

Um dos estudos pioneiro no desenvolvimento de aplicações para reabilitação utilizando o Kinect e amplamente citado nos trabalhos vigentes, Chang et al. (2011) apresentam neste artigo uma investigação

que objetivou por meio do sistema para reabilitação Kinerehab, implementado pelos autores, avaliar a exequibilidade de um tratamento para jovens adultos (*young adults*) com limitações motoras.

Déficits na capacidade motora ocasionam uma série de consequências, desde a realização da tarefa mais simples como vestir-se e tomar banho de forma independente, até a redução de atividades de lazer e perspectivas profissionais. Para evitar maiores consequências como obesidade por falta de exercícios físicos, é importante que essas pessoas participem de processos de reabilitação por meio da prática de exercícios repetitivos, dessa forma buscando uma melhor qualidade de vida. No entanto muitos reclamam que a falta de motivação os impedem de cumprir regularmente esses exercícios. Fato que pode ser comprovado por meio do estudo no qual Shaughnessy et al.(2006) *apud* Chang *et al.* (2011) indicam que apenas 31% das pessoas com deficiência motora realizam os exercícios como recomendado.

Baseando-se no raciocínio do parágrafo anterior o qual destaca fatores motivadores para a construção desse estudo, Chang et al. (2011) conduziram suas pesquisas dentro da realidade da educação especial de Taiwan. Os pesquisadores constataram que geralmente o terapeuta coordena atividades de reabilitação com cinco alunos ao mesmo tempo, não conseguindo fornecer assistência a todos. Neste contexto a falta de entusiasmo dos alunos resulta na prática incorreta dos movimentos, atrofia muscular e outros elementos que prejudicam a reabilitação.

Identificar motivadores e eficazes métodos de incentivar as pessoas com deficiência motora para realizar exercícios é fundamental para ajudá-los a manter ou melhorar o seu controle motor e aumentar a sua independência (CHANG, et al. 2011). Deste modo a terapia

ocupacional com o acréscimo da NTIC Kinect surge como um novo recurso na tentativa de melhorar a proficiência motora e qualidade de vida dessas pessoas.

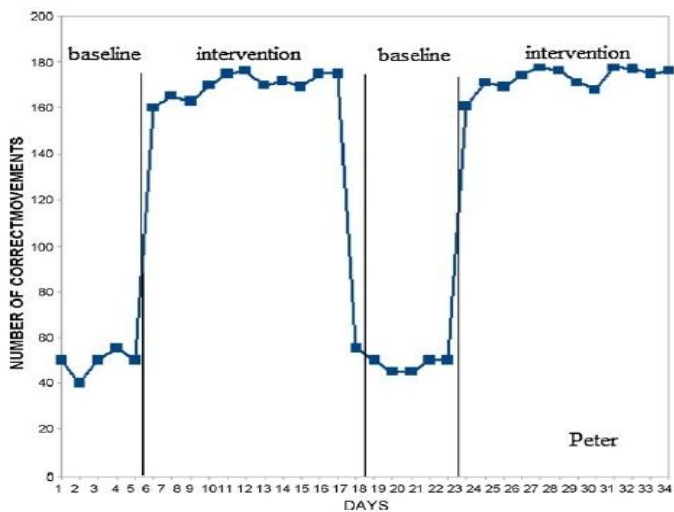
Diante das circunstâncias, Chang et al. (2011) propuseram um sistema intitulado Kinerehab(junção das palavras “Kinect” e “*rehab*”) o qual automaticamente detecta a posição do aluno utilizando as informações para determinar se os movimentos foram executados corretamente, assim como contabilizar o número de exercícios realizados na sessão. Além disso, possui uma interface interativa com *feedback* de áudio e vídeo com intuito de elevar a motivação do alunos durante o processo de reabilitação física.

Para efetuar a validação do sistema Kinerehab os autores conduziram uma investigação com dois alunos de uma escola de educação especial que estavam mais dispostos a participar das experiências. Peter de 17 anos e Sherry 16 foram os participantes e ambos não tinham experiência prévia com o Kinect. Para a continuidade do experimento três movimentos diferentes foram propostos que executados formavam um ciclo. Já a metodologia da reabilitação foi baseada em uma sequência ABAB, em que A compreendeu a fase de linha de base e B representou o período de intervenção, ou seja, as fases referentes a A, diziam respeito ao fisioterapeuta interagindo e apresentando exercícios aos pacientes, já as fases B dizem respeito à inserção da tecnologia Kinect na reabilitação, sem a intervenção do fisioterapeuta neste processo. Dessa maneira, intercalando diferentes métodos, buscou-se obter com maior precisão as diferenças no processo conduzido somente pelo fisioterapeuta e o processo conduzido pelo Kinect.

Neste contexto a fase inicial se deu sem a utilização de tecnologias. O fisioterapeuta apresentou os exercícios aos alunos e os mesmos repetiam. Imprecisões no movimento eram corrigidas até os alunos entendê-los sem erro. Dessa maneira, a partir da compreensão dos movimentos se iniciou a execução de ciclos de exercícios sem a intervenção do fisioterapeuta em caso de erro, sendo contabilizados manualmente por um auxiliar os movimentos corretos em cada sessão.

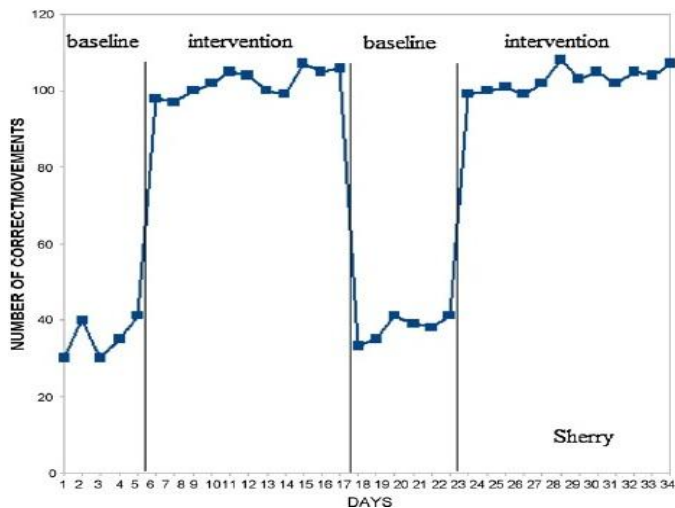
Já na fase de intervenção o sistema Kinerahab foi introduzido. As atividades ocorreram como na fase inicial, no entanto o aluno possuía uma interface interativa exibindo uma animação de uma baleia cantando e lançando sua cauda na superfície do mar. Quanto mais preciso o movimento mais alto a baleia lançava sua cauda na superfície e cantava. Além disso, o Kinerehab contabilizava os movimentos corretos do aluno automaticamente.

Os resultados obtidos no estudo são surpreendentes. Tanto Peter quanto Sherry obtiveram uma significativa diferença no número de movimentos corretos entre as fases de linha de base e intervenção ( $p<0,05$ ). As duas figuras abaixo demonstram graficamente as diferenças.



**Figura 25 - Número de movimentos corretos completados por Peter**

Fonte: (CHANG et al.2011)



**Figura 26 - Número de movimentos corretos completados por Sherry**

Fonte: (CHANG et al. 2011)

As evidências mostram que o sistema Kinerehab com capacidades de reconhecimento de gestos pode ser uma ferramenta de reabilitação viável que reduz os impedimentos para indivíduos que executam os exercícios. Este dispositivo reduz a intervenção pessoal e permitiu aos participantes aumentar a sua motivação para a reabilitação física (CHANG *et al.* 2011). Embora o sistema tenha sido útil, os autores defendem que mais pesquisas são necessárias.



## 4 PROPOSTA

O presente capítulo destina-se a fundamentação e descrição da proposta do sistema complementar a reabilitação de pacientes com patologias ligamentares nos joelhos. Aspectos como, apresentação dos exercícios propostos e métodos para resolução da problemática deste trabalho serão explicitados a seguir.

### 4.1 Biomecânica do joelho

O joelho é uma das maiores articulações do corpo, mas também se trata de uma das mais suscetíveis a lesões. Apesar da estrutura do joelho possibilitar a sustentação de grandes cargas e atividades de locomoção por conta da sua mobilidade, o mesmo pode ser lesionado de diversas maneiras pela vulnerabilidade ao trauma direto (pancadas) ou indireto (entorse), além do excesso de uso ou uso inadequado.

As articulações de um ser humano são caracterizadas a partir da direção em que executam algum movimento, o que pode variar de uma até três direções. Aquelas que permitem apenas movimentos como flexão e extensão são classificadas como monoaxiais, ou seja, realizam movimentos apenas sobre um eixo de direção, tais como cotovelo e joelho. Já as articulações categorizadas como biaxiais, além de desempenharem a flexão e extensão, também executam movimentos de adução e abdução, tal como o punho. Por fim, ombros e quadris são classificados como articulações triaxiais, visto que juntamente aos movimentos realizados pelas biaxiais, estas articulações desempenham movimentos de rotação.

As diversas lesões que os joelhos estão suscetíveis se devem ao fato da sua grande mobilidade. Em contrapartida, a flexibilidade em demasia desta articulação humana acaba expondo a estrutura a lesões quando se executa determinados movimentos.

Conforme Magee (2008) o joelho é uma articulação de grande estabilidade do ponto de vista mecânico, em vista que é submetido a grandes cargas em virtude do peso do corpo. A estabilidade da articulação encontra-se no contexto da sua total extensão, no entanto em flexão a partir de determinados ângulos, o conjunto articular obtém mobilidade necessária à orientação do pé no solo. Diante disso, devido à incongruência das superfícies articulares da tibia e do fêmur, a articulação se torna propensa a entorses e luxações.

Quando está em flexão, posição de instabilidade, o joelho está sujeito ao máximo a lesões ligamentares e meniscais. Em extensão é mais vulnerável a fraturas articulares e a rupturas ligamentares (KAPANDJI, 2007).

No que tange os ligamentos do joelho, estes podem ser classificados em quatro grandes ligamentos: Ligamento Cruzado Anterior (LCA), Ligamento Cruzado Posterior (LCP), Ligamento Colateral Medial (LCM) e Ligamento Colateral Lateral (LCL). A incidência de lesões nos ligamentos ocorre frequentemente em indivíduos jovens e de meia idade, em torno de 20 e 40 anos de idade, devido a atividades esportivas. Em contrapartida, comumente se trata de lesão do ligamento cruzado anterior (LCA) em jovens entre 15 e 25 anos de idade, praticantes de atividade esportiva (KISNER; COLBY, 2009). Isso acontece, pois atividades como futebol, handebol e basquete

exigem mudanças rápidas de direção. Já em esportes de salto a distensão do LCA pode ocorrer quando não houver aterrissagem firme.

O processo de reabilitação dessas lesões exige a execução dos exercícios com os joelhos levemente flexionados, dessa forma evitando também o alongamento agressivo dos isquiotibiais, os quais correspondem a um conjunto de músculos da coxa. Atualmente, as lesões de LCA têm sido tratadas utilizando o agachamento como principal exercício da reabilitação, pois durante a execução não há forças tensionais significativas no LCA. Segundo Escamilla (2001) isso se deve em parte pela moderada ativação dos isquiotibiais que ajudam a aliviar a tensão no LCA devido ao mecanismo de co-contração.

A abrangência do agachamento pode ser levada até os estágios avançados de recuperação, visto que à medida que se eleva o ângulo de flexão dos joelhos acarreta no aumento da contração dos isquiotibiais, dependendo somente da análise do fisioterapeuta para determinar a evolução do paciente e remodelar o grau de execução do exercício. Durante o agachamento a maior compressão no LCA ocorre nos ângulos menores que 50 graus (TOUTOUNGI et al, 2000).

A frouxidão ligamentar do LCA lesionado pode ser controlada em exercício de cadeia cinética fechada (ECCF), mas, não em exercício de cadeia cinética aberta (ECCA) (KVIST & GILLQUIST, 2001). Essa afirmação se diz correta devido ao fato que, ECCF simulam melhor atividades cotidianas, além de utilizarem mais de uma articulação, também trabalhando mais de um grupo muscular. Em contrapartida, há poucos movimentos presentes no dia-a-dia que isolam articulações ou músculos como ocorre nos ECCA. Recomenda-se assim a prática de

ECCF na reabilitação de LCA, no entanto não se descarta os ECCA, desde que estes sejam realizados com pouco peso, ou nenhum.

Distensões no ligamento cruzado posterior (LCP) possuem como maior queixa as dores, principalmente em flexões além de 90° e não a instabilidade da articulação do joelho. A hiperextensão é o fator mais comum que ocasiona esse tipo de lesão, comumente provocada por traumas diretos na região anterior da parte superior da coxa.

A reabilitação de lesões no LCP deve ser realizada por meio do fortalecimento do quadríceps com exercícios de flexo-extensão do joelho com arcos de movimentos de 0° e 45°, além de não se esquecer de alongar os isquiotibiais (PLAPLER, 1995). No entanto é imprescindível o cuidado para não hiperestender o joelho lesionado no alongamento dos isquiotibiais. O fortalecimento do quadríceps deve ser executado por intermédio de exercícios de cadeia aberta (ex: cadeira extensora), todavia, ao decorrer da reabilitação exercícios de cadeia fechada podem ser introduzidos, como agachamento.

Lesões isoladas no ligamento colateral medial (LCM) são na maioria das vezes de caráter não cirúrgico. Conforme Plapler (1995), quando não ocorre a lesão do LCA associada ao LCM, este ligamento acaba dando proteção ao compartimento medial e consequentemente ao LCM, permitindo sua cicatrização. No entanto o LCM é mais frequentemente lesionado do que o ligamento colateral lateral (LCL). Devido a uma anatomia mais complexa do lado lateral, a lesão do LCL comumente está associada à lesão de outras estruturas da articulação, ao mesmo tempo.

Lesões do LCM são comuns no esporte em consequência de uma força extrema direcionada a lateral do joelho, sendo relacionada a

esportes como futebol, judô, karatê, entre outros. Para o tratamento desta lesão, a reabilitação consiste no fortalecimento de todos os músculos que cruzam a articulação do joelho (quadríceps, isquiotibiais, adutores e abdutores), por meio de movimentos de flexo-extensão visando tanto à manutenção da amplitude, quanto a manutenção da força muscular.

#### 4.2 Caracterização dos exercícios propostos

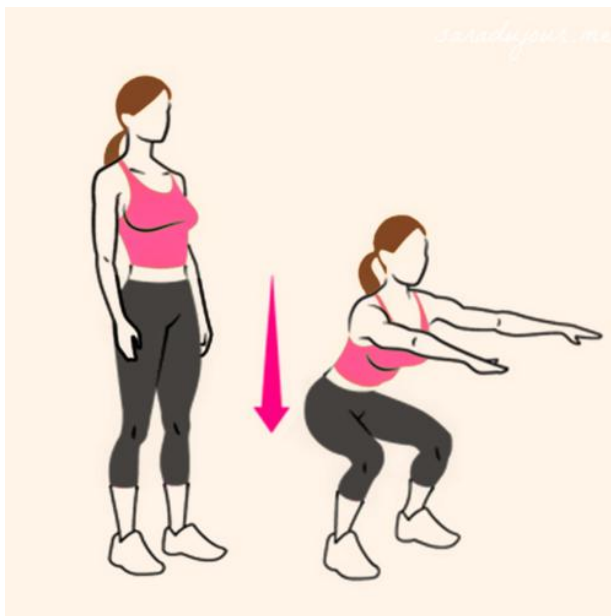
A análise da biomecânica do joelho por intermédio do estudo bibliográfico foi elemento essencial para compreensão do mesmo, possibilitando a proposição de exercícios para a reabilitação de pacientes com patologias nesta articulação. No entanto, o estudo do referencial bibliográfico de fisioterapia possibilitou o entendimento acerca de que há técnicas específicas para a reabilitação, as quais somente podem ser averiguadas pelo fisioterapeuta. Neste contexto, cabe a essa proposta a complementação do processo de reabilitação, uma vez que a utilização de *videogames* para adicionar dinamismo e motivação em reabilitações motoras ocorre em etapas finais do processo.

##### 4.2.1 Agachamento

Para a execução do agachamento, o paciente deve estar de frente para o sensor Microsoft Kinect, com os pés firmes no solo e um pouco afastados, além de exigir uma postura ereta. Dessa maneira, o paciente flexionará os joelhos projetando o quadril para trás. Conforme Sousa (2007), deve-se prestar atenção no alinhamento dos joelhos para que os mesmos permaneçam alinhados com os pés. Por fim o paciente

deve estar com os joelhos flexionados em  $90^\circ$  e o tronco levemente inclinado para frente. Utilize o braço para manter o equilíbrio.

A caracterização descrita no parágrafo anterior pode ser modificada pelo fisioterapeuta conforme a lesão e limitação de flexão do paciente, no intuito de não forçar as articulações agravando a lesão.



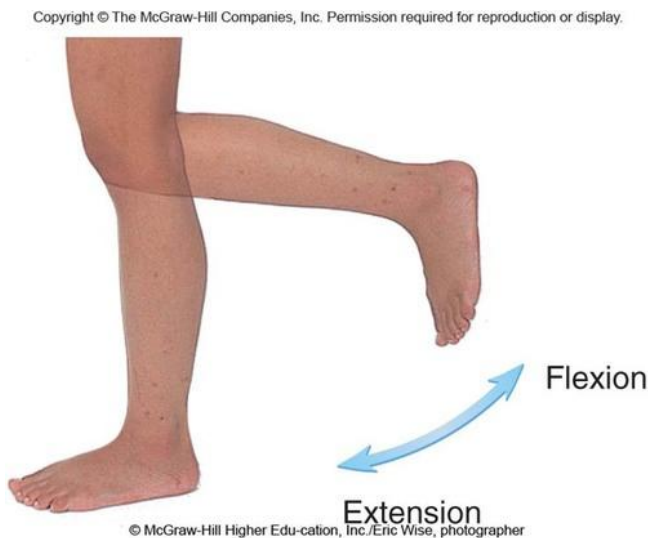
**Figura 27 - Agachamento Simples**

Fonte: <http://safiyahesack.wordpress.com/2013/05/06/the-art-of-squats/>

#### **4.2.2 Extensão e flexão do joelho em pé**

O paciente encontra-se de pé, com o corpo rotacionado em  $90^\circ$  de forma que a perna lesionada esteja visível para o Kinect. Neste contexto, a posição inicial é referente ao ângulo  $0^\circ$ , em que o paciente estará com as duas pernas apoiadas no solo. A intenção do exercício é

promover a realização da flexão máxima do joelho, sem que se realizem compensações do movimento. Conforme Kapandji (2007), um indivíduo saudável atinge uma flexão de cerca de 120°.



**Figura 28 - Exercício de extensão/flexão do joelho em pé**

Fonte: <http://quizlet.com/18565213/combo-with-combo-with-planes-of-motion-and-1-other-and-1-other-flash-cards/>

#### **4.2.3 Extensão e flexão do joelho sentado**

Neste exercício o paciente encontra-se sentado, com o joelho flexionado em 90° e de frente para o Kinect. Busca-se por meio deste exercício, o movimento de extensão máxima sem que o paciente execute compensações, ou seja, de maneira que o paciente realize o movimento natural, sem ativar grupos musculares que não são responsáveis pelo movimento proposto. Conforme Kapandji (2007), um indivíduo sem patologia consegue executar o exercício com uma extensão equivalente a 180°.



**Figura 29 - Exercício de extensão/flexão do joelho sentado**

Fonte: <https://myhealth.alberta.ca/health/pages/conditions.aspx?hwid=zm2427&>

### 4.3 Caracterização da Proposta

São comuns, nos dias de hoje, lesões sofridas nas articulações do corpo, visto que o estilo de vida atual comparado há de algumas décadas anteriores difere drasticamente. Fatores como ritmo intenso de trabalho e por consequência a diminuição da prática de exercícios físicos, acidentes de trânsito, esforços repetitivos, práticas esportivas inadequadas e obesidade, podem ocasionar lesões nos membros inferiores, mais especificamente nas articulações dos joelhos.

Dessa maneira, pesquisas com estratégias que utilizem dispositivos de interação natural com a finalidade de modificar os tradicionais métodos de reabilitação física, motivando pacientes a



permanecerem nos programas de reabilitação, são cada vez mais comuns nos meios acadêmicos.

Conforme estudo de Chang et al. (2011) apenas 31% das pessoas em reabilitação motora efetuam corretamente seus exercícios como recomendado, seja devido ao fato do processo ser exaustivo e doloroso ou em virtude dos equipamentos serem muitas vezes desconfortáveis ou ainda por algum fator estético ou social.

Diante deste cenário a elaboração dessa proposta visa atender dois aspectos: aquisição e processamento de dados. Mediante estes aspectos, busca-se extrair características como: velocidade do movimento executado, posição e ângulo de articulações. Além disso, a proposta incorpora a avaliação qualitativa e quantitativa dos exercícios propostos.

No intuito de viabilizar a proposta para uma possível implementação posteriormente, tomou-se como base a plataforma *Kinect for Windows*. O SDK indicado para possibilitar o desenvolvimento dessa proposta foi o *Kinect for Windows SDK*. A escolha do SDK oficial da plataforma *Kinect*, se deve ao fato deste possuir características que o torna mais completo e preciso à finalidade deste trabalho comparado aos demais SDKs estudados.

A partir dos aspectos destacados nos parágrafos anteriores, objetivou-se compor uma proposta que incorporasse diversas particularidades averiguadas em trabalhos correlatos, na finalidade de torná-la o mais completa possível para atender requisitos tanto de fisioterapeutas, quanto de pacientes.

### 4.3.1 Requisitos de Sistema

Mediante a pesquisa de estudos correlatos, tais como, (CHANG, et al., 2011), (SILVA, et al., 2012), (PASTOR, et al., 2012), (FERRAZ; YAMASHITA, 2012), se estabeleceu um conjunto de requisitos. Esses devem fazer parte da composição do sistema, conforme averiguado os resultados dos estudos. Por meio disso, busca-se agregar aspectos validados nos diversos trabalhos analisados, no intuito de formular uma proposta que atenda as necessidades dos interessados.

- **Avaliação da qualidade dos exercícios:** o acréscimo deste requisito busca beneficiar tanto o fisioterapeuta, quanto o paciente. No âmbito dos trabalhos do fisioterapeuta, este requisito contribuirá fornecendo informações que servirão para analisar o quadro do paciente, assim como sua evolução ao decorrer da reabilitação. Em contrapartida, o paciente será beneficiado com questões motivacionais que ajudarão a mantê-lo focado, desta forma preservando a qualidade dos exercícios.
- **Oferecer *feedback*:** a capacidade de oferecer *feedback*, tanto ao paciente, quanto ao fisioterapeuta é um meio indispensável para manter o paciente motivado com relação a qualidade de seus exercícios.
- **Adaptabilidade do sistema:** Este requisito diz respeito à capacidade de modelar o sistema para que atenda pacientes

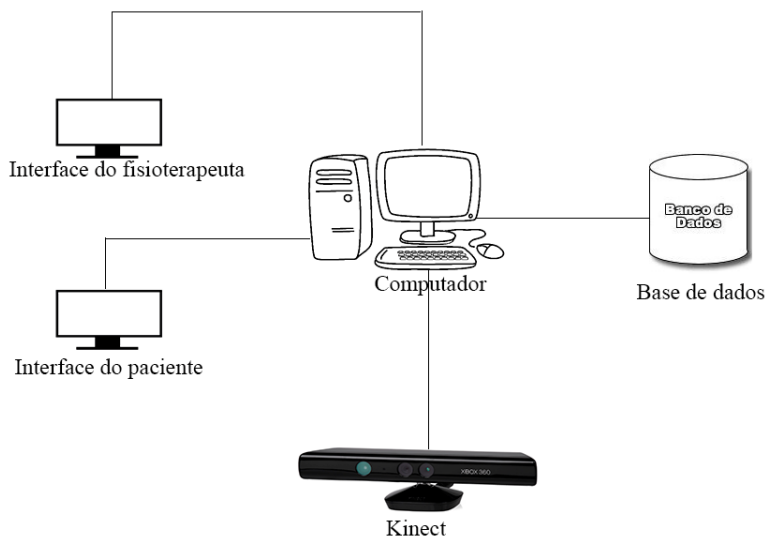
com diferentes graus de lesões, de modo que a aplicação não acabe por frustrá-los prejudicando o processo de reabilitação.

- **Armazenar informações referentes às sessões:** O registro de informações das sessões em um banco de dados é uma característica primordial que fornecerá ao fisioterapeuta controle sobre os usuários, número de sessões, exercícios executados, entre outros aspectos.
- **Gravar sessões:** Importante característica, a qual propiciará ao fisioterapeuta mais um método de analisar a evolução do paciente.
- **Proporcionar imersão:** Requisito fundamental para manter o foco do paciente na reabilitação, uma vez que dispondo de um dispositivo que torna conceitos de realidade virtual viáveis, instigar o paciente em ambientes 3D propicia uma maior imersão.
- **Interface amigável:** Apesar de a proposta ser baseada em uma tecnologia de interação natural, nada disso basta se a interface implementada for de difícil compreensão. Dessa maneira, o desenvolvedor deve implementar uma interface gráfica simples para assim manter o foco do paciente na reabilitação.

### 4.3.2 Especificação da Aplicação

Como consequência dos requisitos de sistema levantados, é válida a proposição de um *serious game* para complementar à reabilitação de pacientes com patologias ligamentares nos joelhos. *Serious game* é um termo que conforme Zyda (2005, p. 26) afirma, é “uma competição mental, jogada através de um computador de acordo com regras específicas, que se utiliza do entretenimento para promover treinamento corporativo, educação, saúde, políticas públicas e objetivos de comunicação estratégica”.

No entanto, primeiramente é necessário estruturar o que estará por trás do *serious game*. Dessa forma é proposta a seguinte arquitetura para a aplicação:

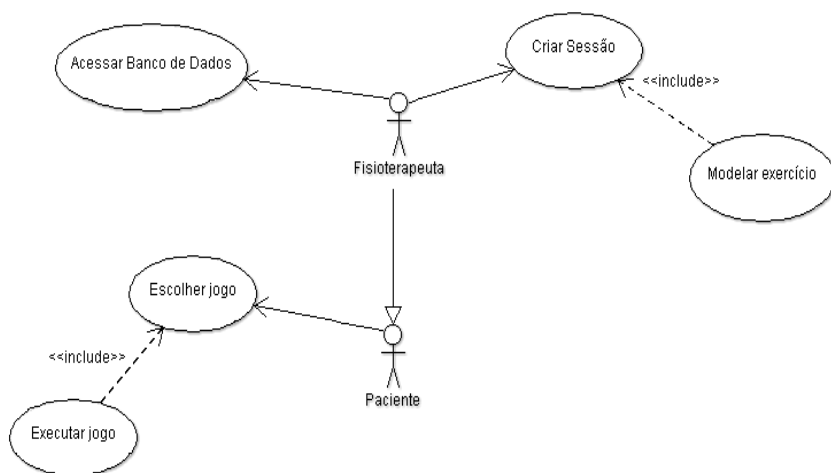


**Figura 30 - Arquitetura da aplicação**

Fonte: Elaborado pelo autor.

A estrutura descrita na figura acima faz menção a alguns requisitos de sistema primordiais, tais como a implementação de uma base de dados a qual estará sujeita ao armazenamento das informações referentes às sessões de fisioterapia, além do requisito que diz respeito ao *feedback*, visto que a proposta da aplicação contará com interfaces diferenciadas a cada tipo de usuário (paciente e fisioterapeuta), onde os mesmos obterão o *feedback* desejado, seja por meio da execução do jogo(paciente) ou pela possibilidade de analisar as informações das sessões(fisioterapeuta).

Para elucidar as funcionalidades que os usuários contarão, se estabeleceu a construção de um diagrama de caso de uso.



**Figura 31 - Diagrama de caso de uso da aplicação**

Fonte: Elaborado pelo autor

O referente diagrama de caso de uso explicita, no caso do paciente, que o mesmo irá escolher o jogo e o executará de acordo com

os exercícios modelados pelo fisioterapeuta. Este, por sua vez, poderá criar sessões para os pacientes e modelar os exercícios conforme a lesão e o grau da mesma através da modificação de parâmetros no sistema que constam na tabela a seguir, além de realizar funções de um paciente.

<b>Tipo de Exercício</b>	<b>Parâmetros configuráveis no sistema</b>
Agachamento	Grau de flexão do agachamento
	Quantidade de repetições
Flexo/extensão em pé	Grau inicial de extensão do joelho
	Grau final de flexão do joelho
	Quantidade de repetições
Flexo/extensão sentado	Grau inicial de flexão do joelho
	Grau final de extensão do joelho
	Quantidade de repetições

**Tabela 1- Parâmetros configuráveis pelo fisioterapeuta**

Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, o fisioterapeuta terá acesso ao banco de dados, o qual estará munido de informações das sessões de cada paciente, além dos arquivos referentes às gravações em vídeo das sessões realizadas.

Elucidada a estrutura da aplicação e as funcionalidades pertinentes aos pacientes e fisioterapeutas, segue-se para a caracterização da proposta do *serious game*.

Conforme Ferraz e Yamashita (2012) a criação de um jogo interessante para o paciente e que possa ser útil, se faz necessária algumas condições:

- Conseguir adaptar-se às habilidades individuais.
- Ser divertido.

- Permitir interações físicas naturais.
- Interações terem algum propósito associado.

Além das características afirmadas pelos autores, acrescenta-se o fator de competição, visto que estimular a competição em um ambiente proporciona maior motivação para a execução da tarefa. Dessa forma, levando para o contexto da reabilitação física, a disposição de dois pacientes compartilhando experiências em um ambiente competitivo, fará que tais dediquem-se mais a prática dos exercícios propostos, até realizando-os de maneira inconsciente devido ao simples fato de estarem motivados a vencer.

Em conformidade aos aspectos descritos como imprescindíveis para a criação de um jogo interessante ao paciente, propõe-se um *serious game* para atender essas especificidades.

A proposta consiste em um sistema que engloba um *serious game* para multijogadores que deve utilizar como base o exercício de agachamento e uma aplicação para execução convencional dos exercícios de flexo/extensão em pé e sentado. Ambos os exercícios que compõem a proposta possuem foco na reabilitação de pacientes com patologias ligamentares nos joelhos.

A proposição do *serious game* baseia-se em uma modalidade de jogo de corrida (*running*) largamente difundida em aparelhos móveis como *smartphones* e *tablets*. Esse estilo de jogo possui como objetivo correr por um cenário cheio de obstáculos, no intuito de fugir de uma ameaça, comumente um monstro definido pelo jogo. Para incrementar a jogabilidade, estes jogos possibilitam que o usuário recolha itens ao decorrer das fases, acumulando pontos para assim melhorar características do personagem do jogador. Para isso, o jogador executa

comandos para o personagem deslocar-se em direção a esquerda e direita, além de pular e agachar-se. Comandos estes que podem ser facilmente adaptados para serem executados através da tecnologia de interação natural Kinect.

O principal representante e disseminador desse estilo de jogo nas plataformas móveis, trata-se do jogo *Temple Run* (Figura 32).



**Figura 32 - Jogo estilo running chamado Temple Run**

Fonte: <http://gizmodo.uol.com.br/wp-content/blogs.dir/8/files/2013/01/temple-run-2.jpg>



Desta maneira, tendo como base o jogo *Temple Run*, a proposta de um *serious game* semelhante a este jogo visa beneficiar-se da sua jogabilidade simples. Em virtude disso, cabe a adaptação dos comandos do jogo para que os mesmos possam ser executados através do Kinect. Neste contexto, os movimentos do personagem podem ser realizados de forma natural através do simples balançar de braço para direita ou esquerda, além de uma adaptação ao movimento de pulo que deve ser



executado através do erguer do braço, pois o pulo de forma natural para um paciente com lesão ligamentar pode agravar a patologia.

No entanto, o principal comando com relação à proposta, diz respeito ao movimento do personagem para agachar-se. Este deve ser construído de forma que o paciente execute o agachamento de acordo com o grau definido no sistema pelo fisioterapeuta. Dessa maneira, durante o jogo, ao necessitar superar um obstáculo o paciente realizará o agachamento como parte integrante do processo de reabilitação motora.

Para que o *serious game* seja bem sucedido, faz-se necessário que o mesmo atenda aos requisitos especificados neste capítulo. Desta forma, a reabilitação por meio do agachamento neste *serious game* deve propiciar um tipo de *feedback* ao paciente que ilustre se o movimento foi realizado corretamente. Para isso, quando necessário agachar-se para ultrapassar um obstáculo e assim o paciente executar o movimento de maneira correta, o mesmo continuará o jogo normalmente. No entanto, escutará um som que caracterizará a correta execução do exercício e verá a figura de um quadrado verde com o símbolo “✓” no canto superior da tela por alguns segundos. Contudo, se o mesmo errar o agachamento de acordo com o que o fisioterapeuta definiu, o personagem irá esbarrar no obstáculo, perder velocidade e o jogo emitirá um som indicando erro, ao mesmo tempo em que exibe a figura de um quadrado vermelho com a letra “X” no canto superior da tela por alguns segundos, indicando o erro no movimento do paciente. A tabela abaixo ilustra a descrição do *feedback*.

Exercício realizado corretamente	Exercício realizado erroneamente
Efeito sonoro indicando acerto	Efeito sonoro indicando erro
Imagem indicando acerto:	Imagem indicando erro:
	

**Tabela 2 - Feedback do serious game para o paciente**

Fonte: Elaborado pelo autor

Busca-se desta forma oferecer *feedback* ao paciente ao decorrer da execução do *serious game*, de modo que o mesmo obtenha conhecimento sobre se os exercícios realizados estão corretos ou não, concomitantemente a imersão propiciada pelo jogo com intuito de entretê-lo, para que assim o mesmo escape dos métodos tradicionais de reabilitação motora.

O segundo segmento da aplicação proposta consiste na realização convencional dos exercícios de flexo/extensão em pé e sentado. Estes exercícios, por sua vez, serão praticados com auxílio do Microsoft Kinect que fornecerá *feedback* ao paciente com a finalidade de estimular a continuidade do tratamento.

A construção desta parte da aplicação deve basear-se em uma interface que simule a posição do paciente para a prática do exercício escolhido através de um avatar personalizável para cada paciente. Dessa maneira, por meio de uma interface simplificada e que responda aos estímulos efetuados pelo paciente, o mesmo realizará a sessão de

fisioterapia com base nos parâmetros configurados pelo fisioterapeuta no sistema que constam na já apresentada tabela 1.

No intuito de incentivar e dar *feedback* ao paciente em relação a qualidade do exercício efetuado pelo mesmo, primeiramente é proposto um método para apresentar-lhe o exercício a ser realizado de acordo com os parâmetros configurados pelo fisioterapeuta no sistema. Este método consiste na demonstração do exercício na tela pelo personagem do paciente, o qual será demonstrado por meio de três repetições. Busca-se assim que o paciente assimile o exercício conforme o fisioterapeuta configurou para posterior prática.

Além disso, é proposto para este segmento da aplicação a inserção de um método classificatório a ser apresentado ao paciente no final de cada sessão. Desta forma, deseja-se expor uma classificação de uma a cinco estrelas referentes à porcentagem de exercícios realizados corretamente, além da legenda indicando nomenclaturas para a classificação da sessão. A figura abaixo ilustra o funcionamento do método classificatório.



**Figura 33 - Método classificatório sessões de flexo/extensão**

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo é composto pelas principais conclusões obtidas pelo autor em decorrência dos estudos realizados. A partir das conclusões obtidas faz-se a recomendação de possíveis trabalhos a serem produzidos com a plataforma Microsoft Kinect.

### 5.1 Conclusões

O presente trabalho possibilitou através da interdisciplinaridade da proposta, o entendimento aprofundado acerca da tecnologia de interação natural Microsoft Kinect, além do conhecimento sobre métodos fisioterapêuticos para procedimentos de reabilitação motora para patologias ligamentares nos joelhos.

A análise referente ao Kinect possibilitou compreender a complexidade por trás desta tecnologia. O que alguns anos atrás somente seria possível por meio de diversos dispositivos atuando em colaboração, além de marcadores distribuídos no corpo, o que pode incomodar pacientes limitando os movimentos, atualmente faz-se apenas com um dispositivo portátil e de baixo custo.

No que tange as ferramentas de desenvolvimento para o Kinect, observou-se uma variedade delas, cada qual com sua complexidade, destacando-se o Kinect *for* Windows SDK e o OpenNI. Estas plataformas para desenvolvimento são semelhantes, no entanto a análise de requisitos desses SDKs, juntamente a averiguação de estudos como de (FERRAZ; YAMASHITA, 2012) possibilitou a entendimento de que o SDK que propicia o maior ganho é o Microsoft Kinect SDK. Esta conclusão foi tomada em virtude de uma diversidade de fatores, tais como:

- Calibração do esqueleto é realizada pelo próprio dispositivo.
- Facilidade na instalação do SDK
- Ferramenta Kinect Studio que permite gravação do conteúdo.
- Detecção de 20 articulações do corpo.
- Estimativa das posições das articulações mais correta.
- Menor ocorrência de falso-positivos, ou seja, verifica-se a menor incidência de detecções erradas do esqueleto e menos confusões na detecção do esqueleto junto a um objeto. Ex.: paciente sentado em uma cadeira.
- *Near mode*, que possibilita a detecção de 10 pontos de articulação a partir de 40cm da tela em que o usuário se faz presente.
- Suporte da Microsoft em constantes atualizações do SDK
- Documentação mais detalhada referente ao SDK, suas funcionalidades e uma diversidade de exemplos de códigos para testes.

Apesar de possuir uma variedade de vantagens sobre o OpenNI, o SDK do Kinect possui limitações. Devido aos direitos comerciais pertencerem a empresa norte-americana Microsoft, o desenvolvimento é limitado aos dispositivos com o sistema operacional Windows 7 e 8, já o OpenNI é *open source* e assim multiplataforma.

O levantamento referencial para este trabalho possibilitou o conhecimento de uma gama enorme de estudos utilizando o Kinect nas mais diversas áreas do conhecimento. Dessa maneira, conclui-se que o

advento dessa tecnologia tem contribuído em demasia para o avanço de pesquisas relativas à interação natural.

Para a fisioterapia, o Kinect representa a oportunidade de adicionar dinamismo e ludicidade, assim aliviando o estresse e a rotina que os processos de reabilitação tradicionais proporcionam. No intuito de viabilizar as características descritas acima, foi visto que alguns estudos mais complexos fazem uso de motores gráficos para criação de jogos mais imersivos, o que é um fator positivo, pois demonstra cada vez mais a importância do Kinect e o interesse por pesquisas na área de interação natural.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Em virtude da tecnologia de detecção de movimentos Microsoft Kinect ser nova no mercado de desenvolvimento, em vista que foi lançada em meados de 2010, é importante o desenvolvimento de cada vez mais estudos com intuito de detalhar e demonstrar novas possibilidades de uso desta tecnologia. Dessa maneira, ampliar a gama de estudos que façam menção ao uso do Kinect é primordial para popularizar a tecnologia e propiciar materiais aos pesquisadores que desejam aplicá-la em seus estudos.

Embora no Brasil haja instituições de ensino superior e pesquisadores engajados no desenvolvimento de aplicações para o Kinect, ainda há um número escasso de estudos brasileiros disponíveis para a comunidade acadêmica consultar. Assim a maior parte dos estudos consultados por pesquisadores são do exterior.

Neste contexto, para a realização de trabalhos futuros com o Microsoft Kinect recomenda-se:

- Devido à interdisciplinaridade da pesquisa e a presença das áreas de conhecimento necessárias na UFSC Campus Araranguá, recomenda-se a pesquisa e implementação nessa temática.
- Incorporar a utilização da plataforma Kinect 2 para uma possível implementação, pois esta é uma versão melhorada do Kinect a qual será lançada em uma versão para Windows no início de 2014.
- Implementação de um serviço de cliente-servidor na aplicação, no intuito de se a aplicação por utilizada na residência do paciente o fisioterapeuta terá como acessar as informações referentes àquelas sessões no banco de dados do servidor.
- Utilização de motores gráficos 3D para o desenvolvimento de jogos com maior imersão.



## REFERÊNCIAS

BONSIEPE, G. **Design do material ao digital**. Florianópolis: SEBRAE, 1997.

CESA, “Tokyo Game Show 2005”. Disponível em: <<http://tgs.cesa.or.jp/2005/english/index.html>>. Acesso em: Junho de 2013.

CHANG, Y.J., CHEN, S.F., HUANG, J.D. A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in Developmental Disabilities* – **Elsevier Science Ltd.**, New York, Nov/Dec 2011, Vol.32 No.6, p. 2566–2570.

CRUZ, Leandro; LUCIO, Djalma; VELHO, Luiz. Kinect and rgb-d images: Challenges and applications. **Graphics, Patterns and Images Tutorials (SIBGRAPI-T), 2012 25th SIBGRAPI Conference on**. IEEE, 2012. p. 36-49.

ESCAMILLA RF. Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. **Med Sci Sports Exerc.** 2001 Jan;33(1):127-41

DEUTSCH, J.E.; BORBELY, M.; FILLER, J.; HUHN, K. e GUARRERA-BOWLBY, P. (2008). **Use of a Low-Cost, Commercially Available Gaming Console (Wii) for Rehabilitation of an Adolescent With Cerebral Palsy.** *Physical Ther.*, 88, 1196-1207.

FERRAZ, Leonardo Tórtora Devienne; YAMASHITA, Renato Kenichi Sakata. Desenvolvimento de Jogo Eletrônico para Reabilitação Utilizando um Sensor de Som e Movimento (Kinect). **Trabalho de Formatura-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos**, 2012.

GEE, J. P. **What video games have to teach us about learning and literacy**. New York: Palgrave Macmillan, 2003.

GUINNES WORLD RECORDS. 2011. Disponível em: <<http://www.guinnessworldrecords.com/records-9000/fastest-selling-gaming-peripheral/>> Acesso em: Junho de 2013

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, M. et al. eBaViR, easy balance virtual rehabilitation system: a study with patients. **Stud Health Technol Inform**, v. 154, p. 61-66, 2010.

JACOBSON, L. **Realidade virtual em casa**. Rio de Janeiro, Berkeley, 1994.

KAPANDJI, Ibrahim Adalbert. **Fisiología articular: esquemas comentados de mecánica humana: 1**. Panamericana, 2007.

KIRNER, Claudio; TORI, Romero; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.

KINECT, 2010. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>> Acesso em: Dezembro de 2013.

KISNER, Carolyn; COLBY, Lynn Allen. **Exercícios terapêuticos: fundamentos e técnicas; Therapeutic exercise: foundations and techniques**. Manole, 2009.

KVIST J., GILLQUIST J. Sagittal plane knee translation and electromyographic activity during closed and open kinetic chain exercises in anterior cruciate ligament-deficient patients and control subjects. **Am J Sports Med**. 2001 Jan-Feb;29 p.72-82.

LANDLEY, R; RAYMOND, E. **The art of unix usability**. 2004. Disponível em: <<http://www.catb.org/~esr/writings/taouu/taouu.html>>. Acesso em: Agosto de 2013

LATTA, J.N.; OBERG, D.J. A conceptual virtual reality model. **IEEE Computer Graphics & Applications**, 14: p. 23-29, Jan. 1994.

LIBFREENECT, 2013. Disponível em: <<https://github.com/OpenKinect/libfreenect>> Acesso em: Agosto de 2013.

MACHADO, Liliane dos Santos. Conceitos básicos da realidade virtual. **São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 1995.

MICROSOFT MSDN, Biblioteca **MSDN Kinect for Windows SDK**. Disponível em <<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855347>>. Acesso: Agosto de 2013

MAGEE, David J. Orthopaedic physical assessment. **Elsevier Health Sciences**, 2008.

MYERS, B.; HUDSON, S. E.; PAUSCH, R. **Past, Present and Future of User Interface Software Tools**. Pittsburgh, PA: ACM. 2000.

NINTENDO WII, 2006. Site oficial do console Nintendo Wii. Internet. Disponível em: <<http://www.nintendo.com/wii>>. Acesso em: Junho de 2013.

NETTO, Antonio Valerio; MACHADO, Liliane dos Santos; OLIVEIRA, Maria Cristina Ferreira de. Realidade Virtual: Definições, Dispositivos e Aplicações. **Tutorial. Revista Eletrônica de Iniciação Científica da SBC, II**, v. 2, 2002.

OLIVEIRA NETTO, Alvim Antônio de. IHC: Modelagem e Gerência de Interfaces com o Usuário. **Florianópolis: VisualBooks**, 2004.

OPENCV, 2000. Disponível em: <<http://opencv.org/>> Acesso em: Agosto de 2013.

OPENKINECT, 2011. Disponível em: <[http://openkinect.org/wiki/Main\\_Page](http://openkinect.org/wiki/Main_Page)> Acesso em: Agosto de 2013.

OPENNI, 2010. **OpenNI User Guide**. Disponível em: <<http://www.openni.org/openni-programmers-guide/>>. Acesso em: Agosto de 2013.

PASTOR, Isaac; HAYES, Heather A.; BAMBERG, Stacy JM. A feasibility study of an upper limb rehabilitation system using kinect and computer games. **Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE**. IEEE, 2012. p. 1286-1289.

PLAPLER, Pérola Grinberg; GREVE, Júlia Maria D.'Andrea. Reabilitação do joelho. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 3, n. 4, 1995.

PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. **Virtual reality - through the new looking glass**. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1995.

POWER GLOVE, 1989. Disponível em: Power Glove Acesso em: junho de 2013

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen. **Design de interação: além da interação homem-computador**. São Paulo: Bookman, 2005.

PRIMESENSE, 2013. Disponível em: <http://www.primesense.com/solutions/technology/>. Acesso em: Agosto de 2013

PRIMESENSE NI. Disponível em: <http://www.primesense.com>. Acesso em: Agosto de 2013.

SCALCO, R. ; FREITAS, A. G. . Uso do controle Wii Remote como cursor para manipulação de objetos tridimensionais em ambientes de Realidade Virtual. **40th IGIP International Symposium on Engineering Education, 2011, Santos. Forming International Engineers for the Information Society**. Santos: Claudio da Rocha Brito, 2011. v. 1. p. 556-559.

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B., **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design**. Morgan Kaufmann, 2003.

SILVA, Luiz José Schirmer *et al.* Sistema de Reabilitação Fisioterapêutica baseado em Jogos com Interfaces Naturais. **Brasília-DF: XI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, 2012**. 4 p.

SOUSA, Catarina de Oliveira et al. Atividade eletromiográfica no agachamento nas posições de 40°, 60° e 90° de flexão do joelho. **Rev. bras. med. esporte**, v. 13, n. 5, p. 310-316, 2007.

SWELLER, J. Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. **Cognitive Science**, 12, n. 2, 1988.

SWELLER, J.; VEM MERRIENBOER, J. J. G.; PAAS, F. G. W. C. Cognitive Architecture and Instructional Design. **Educational Psychology Review**, 10, 1998.

TAVARES, R., 2011. Inteligências e videogames: o corpo que lê. **Revista Tecnologia Educacional**. v. 195: 2012, out – dez: p. 25-37.

TOUTOUNGI DE, LU TW, LEARDINI A, CATANI F, O’CONNOR JJ. Cruciate ligament forces in the human knee during rehabilitation exercises. **Clin Biomech (Bristol, Avon)**. 2000 Mar; 15: p. 176-87

UNITY3D, 2013. Disponível em: <<http://unity3d.com/unity>> Acesso em: Agosto de 2013.

VALLI, A. **Notes on Natural Interaction**. 2005.

VIRTUAL BOY, 1995. Disponível em: [Virtual Boy](#). Acesso em: junho de 2013

WIGDOR, Daniel; WIXON, Dennis. **Brave NUI world: designing natural user interfaces for touch and gesture**. Elsevier, 2011.

ZAPPER, 1984. Disponível em: [Zapper](#). Acesso em: junho de 2013

ZALEVSKY, Z. et al. 2007. **Method and System for Object Reconstruction**. Disponível em: <<http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2007043036&recNum=1&maxRec=&office=&prevFilter=&sortOption=&queryString=&tab=PCT+Biblio>> Acesso em: Agosto de 2013

ZHANG, Zhengyou. Microsoft kinect sensor and its effect. **Multimedia, IEEE**, v. 19, n. 2, p. 4-10, 2012.

ZYDA, M. “From visual simulation to virtual reality to games”. **Computer**, vol. 38, no. 9, pp. 25–32, 2005.